

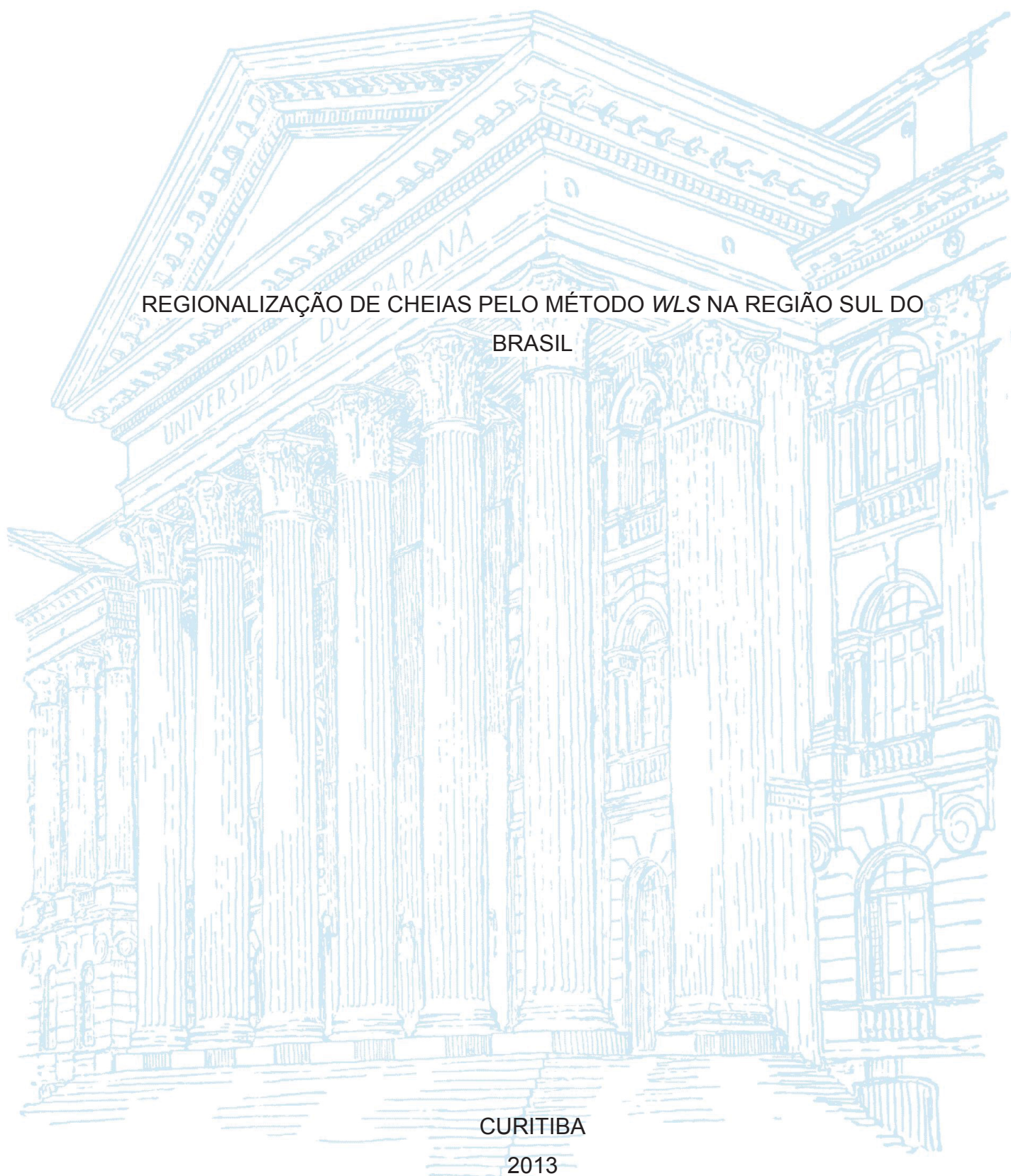
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA PIANA SERPA

REGIONALIZAÇÃO DE CHEIAS PELO MÉTODO WLS NA REGIÃO SUL DO
BRASIL

CURITIBA

2013



CAROLINA PIANA SERPA

REGIONALIZAÇÃO DE CHEIAS PELO MÉTODO WLS NA REGIÃO SUL DO
BRASIL

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Heinz Dietter O. A. Fill

CURITIBA

2013

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

S486r

Serpa, Carolina Piana

Regionalização de cheias pelo método WLS na região sul do Brasil
[recurso eletrônico] / Carolina Piana Serpa, 2013.

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação Graduação em
Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná,
Orientador: Prof. Dr. Heinz Dietter O. A. Fill

1. Vazante. 2. Inundações. I. Universidade Federal do Paraná. II.
Fill, Heinz Dietter O. A. III. Título.

CDD 627.4

Bibliotecária: Vilma Machado CRB9/1563



TERMO DE APROVAÇÃO

CAROLINA PIANA SERPA


“Regionalização de Cheias pelo Método WLS na Região Sul do Brasil”

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:


Heinz Dieter Fill
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:


Fábio Teodoro de Souza
Pontifícia Universidade Católica do Paraná


Miriam Rita Moro Mine
Universidade Federal do Paraná


Eloy Kavisky
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 07 de junho de 2013

Aos meus pais, Vanderlei e Loreni, os arcos que me impulsionam em busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida.

Ao meu orientador Professor Fill, pela enorme sabedoria, pela paciência e principalmente pela oportunidade privilegiada de ser por ele orientada.

Aos meus pais, Vanderlei e Loreni, meu irmão Vítor, meus exemplos, e a toda minha família, pelo apoio incondicional.

A minha segunda família, minhas amigas Alinne, Danielle, Janaína e em especial a minha irmã de coração Dayane. Por me darem alegria e o ânimo para enfrentar os dias mais difíceis.

A todos do PPGERHA (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), professores, queridos colegas e funcionários administrativos, pelos conhecimentos preciosos, não só acadêmicos, que foram passados nestes anos de mestrado. Especialmente à professora Miriam e ao professor Cristóvão, responsáveis pela minha iniciação em Recursos Hídricos, área que tanto fascina.

A todos meus amigos que me apoiaram, embora muitas vezes reclamassem a minha ausência. Em especial ao meu grande amigo Gabriel, pela força com as disciplinas, trabalhos, dissertação e principalmente pela fiel parceria.

Aos colegas da Electra Power, Janine, Larissa, Márcio, Renê, Rute, Sabrina, e todos outros. Pela maravilhosa experiência que foi trabalhar com este grupo, e principalmente ao amigo Guilherme, meu companheiro de mestrado, trabalho e de orientador.

Aos colegas do CCBM (Consórcio Construtor Belo Monte), que mesmo com pouco tempo de convivência já são considerados grandes amigos.

A todos citados e àqueles que por ventura eu não tenha citado, mas que de alguma forma me apoiaram neste projeto, muito obrigada.

"O que quer que você possa fazer ou sonhe que possa, faça. Coragem contém genialidade, poder e magia. Comece agora." (*JOHANN WOLFGANG VON GOETHE*)

RESUMO

A presente dissertação desenvolve um modelo de regionalização de cheias através de regressão cujos coeficientes foram estimados pelo método WLS (*Weighted Least Squares*). As regressões foram desenvolvidas para obter estimativas regionais dos primeiros dois momentos-L em função de oito variáveis explicativas a saber área de drenagem, declividade do talvegue, coeficiente de forma, capacidade de retenção máxima, media da chuva máxima anual diária, além de três variáveis *Dummy* para definir sub-regiões homogêneas. A distribuição de probabilidades proposta e a distribuição GEV (*Generalized Extreme Value*) com parâmetro de forma fixo por sub-região. As variáveis explicativas são obtidas de forma automática através de técnicas GIS. Um estudo para a região Sul do Brasil é apresentado. Verifica-se a superioridade do método WLS sobre o método tradicional OLS (*Ordinary Least Squares*) muito usado em análise regional. As diferenças em relação a uma análise local (2P) se apresentam na maioria (85%) dos casos inferiores a 50%.

Palavras-chave: Regionalização de Vazões. Cheias de Projeto. Região Sul do Brasil. Método WLS. Distribuição GEV.

ABSTRACT

This thesis develops a regionalization model for flood flow based on regional regression with WLS (Weighted Least Squares) estimation. The regressions were developed to get regional estimates for the first two L-moments as a function of eight explanatory variables: drainage area, main channel slope, shape coefficient, maximum retention capacity, mean maximum annual daily precipitation, and three dummy variables for assigning sub regions to each site. The proposed probability distribution was the GEV (Generalized Extreme Value) with fixed shape parameter for each sub region. The explanatory variable are computed automatically using GIS techniques for any location. A case study has been performed for South Brazil. One important conclusion is that the WLS estimation methods performs better than the traditional OLS (Ordinary Least Squares) method. Differences between regional and local estimates for flood flows show for most cases (85%) values less than 50%.

Keywords: Regionalization of Flow. Design Flood Flow. South Brazil. Weighted Least Squares. Generalized Extreme Value Distribution

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1-ETAPAS DO MÉTODO DE REGRESSÃO REGIONAL	27
FIGURA 4-1-SUB-BACIAS ABRANGIDAS NO ESTUDO.	43
FIGURA 4-2-LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	44
FIGURA 4-3-PROGRAMAS UTILIZADOS	47
FIGURA 4-4-MOSAICO DAS IMAGENS SRTM.....	48
FIGURA 4-5-MAPA DE USO DA TERRA	50
FIGURA 4-6-MAPA DE SOLOS	51
FIGURA 4-7-POSTOS PLUVIOMÉTRICOS.....	52
FIGURA 4-8-DIREÇÃO DO FLUXO	53
FIGURA 5-2 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS ERROS.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 5-1 – DIFERENÇAS ENTRE ÁREAS DE DRENAGEM DAS ESTAÇÕES CALCULADAS E OBTIDAS PELA HIDROWEB.	59
GRÁFICO 5-3 –RESULTADO RMSE -WLS.....	66
GRÁFICO 5-4 – RESULTADO σ^2 -WLS.....	66
GRÁFICO 5-5 – DISPERSÃO λ_1 -WLS	67
GRÁFICO 5-6 – DISPERSÃO λ_2 -WLS	68
GRÁFICO 5-7 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=100ANOS	70
GRÁFICO 5-8 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=500ANOS.....	70
GRÁFICO 5-9 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=1000ANOS.....	71
GRÁFICO 5-10 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=5000ANOS.....	71
GRÁFICO 5-11 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=10000ANOS.....	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 3-1-VARIÁVEIS <i>DUMMY</i>	38
TABELA 3-2-VARIÁVEIS <i>DUMMY</i> ADOTADAS	38
TABELA 3-3-VALORES ADOTADOS PARA CN	39
TABELA 3-4-VARIÁVEIS EXPLICATIVAS.....	39
TABELA 4-1-PARÂMETROS κ REGIONAIS	45
TABELA 4-2-DIVISÃO DAS SUB-REGIÕES VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	46
TABELA 4-3-DIVISÃO DAS VARIÁVEIS <i>DUMMY</i>	46
TABELA 4-4-USO DA TERRA	49
TABELA 4-5-TIPOS DE SOLO.....	50
TABELA 4-6-VALORES DE ACN PARA CADA TIPO DE USOS DA TERRA PARA CADA TIPO DE SOLO.....	56
TABELA 5-1-DIFERENÇAS ENTRE DECLIVIDADES.....	61
TABELA 5-2- TESTE COM VARIÁVEIS EXPLICATIVAS.	64
TABELA 5-3- TESTE F PARA λ_1	64
TABELA 5-4- TESTE F PARA λ_2	65
TABELA 5-5- COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DAS REGRESSÕES WLS E OLS.....	67
TABELA 5-6- DIFERENÇA ENTRE ESTIMADOS E OBSERVADOS	69

LISTA DE SIGLAS

ANA	- Agência Nacional de Águas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
ARF	- Análise regional de frequência
BLUE	- <i>Best Linear Unbiased Estimate</i>
CCBM	- Consórcio Construtor Belo Monte
CEHPAR	- Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza
CN	- <i>Curve Number</i>
DEM	- <i>Digital Elevation Model</i>
DTM	- <i>Digital Terrain Model</i>
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FDA	- Função de distribuição acumulada
GEV	- <i>Generalized Extreme Value</i>
GIS	- <i>Geographic Information System</i>
NASA	- <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NS	- Coeficiente de Nash – Sutcliffe
OLS	- <i>Ordinary Least Squares</i>
PARM	- Programa de estimativa de parâmetros Locais
PCH	- Pequena Central Hidrelétrica
PPCC	- <i>Probability Plot Correlation Coefficient Test</i>
PPGERHA	- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental
PWM	- <i>Probability Weighted Moments</i>
RMSE	- <i>Root Mean Square Error</i>
SMAP	- <i>Soil Moisture Accounting Procedure</i>
SNIRH	- Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRTM	- <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
USGS	- <i>United States Geological Survey</i>
WLS	- <i>Weighted Least Squares</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ - somatório de números

$E(x)$ - Esperança

Γ .-. Função Gama

% - Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 MÉTODOS INDIRETOS.....	19
2.1.1 Chuva de projeto	19
2.1.1.1 Fórmulas empíricas	19
2.1.1.2 Métodos Estatísticos.....	20
2.1.1.3 Precipitação Máxima Provável	20
2.1.2 Transformação chuva-vazão	21
2.1.2.1 Método racional	21
2.1.2.2 Hidrograma unitário	21
2.1.2.3 Modelos complexos de transformação chuva-vazão	22
2.2 MÉTODOS DIRETOS	22
2.2.1 Análise Regional de Frequências.....	24
2.2.1.1 Index Flood	24
2.2.1.2 Métodos de interpolação	25
2.2.1.3 Regressão Regional	26
2.3 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES	27
2.4 ESTIMATIVA DE PARÂMETROS	28
2.4.1 Método dos Momentos	29
2.4.2 Método da Máxima Verossimilhança.....	29
2.4.3 PMW e Momentos Lineares	29
2.5 MÉTODOS DE REGRESSÃO.....	30
2.6 REGIÃO HOMOGÊNEA.....	33
3 MÉTODOS DE ANÁLISE.....	35
3.1 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS GEV E SEUS ESTIMADORES	35
3.2 REGRESSÃO REGIONAL DOS PARÂMETROS λ_1 E λ_2	37
3.2.1 Variáveis Explicativas.....	37
3.2.2 Modelo de Regressão	40
4 ESTUDO DE CASO	43
4.1 REGIÃO DE ESTUDO.....	43
4.2 MODELOS DESENVOLVIDOS PARA APLICAÇÃO.....	46
4.2.1 Rotina em Arcgis	47

4.2.1.1 Dados de entrada	47
4.2.1.2 Algoritmo da Rotina	52
4.2.1.3 Saídas da Rotina	55
4.2.2 Modelo para Agrupamento e Sintetização dos Dados de Saída do Arcgis- PROGA	55
4.2.3 Programa de estimativa de parâmetros Locais-PARM.....	57
4.2.4 Programa REG	57
5 RESULTADOS.....	59
5.1 TESTE DE EFICÁCIA DA ROTINA ARCGIS	59
5.2 VALIDAÇÕES DO MODELO DE REGRESSÃO	61
5.2.1 RMSE	62
5.2.2 Coeficiente de Determinação	62
5.2.3 Coeficiente de Nash – Sutcliffe (NS)	63
5.3 ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	63
5.4 EQUAÇÃO FINAL DE REGRESSÃO.....	65
5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA REGRESSÃO.....	65
5.5.1 Resultados dos Quantis de Cheia Estimada	68
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	73
REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE 1 – DADOS DE ENTRADA	80
APÊNDICE 2 – ALGORITMOS DESENVOLVIDOS.....	92

1 INTRODUÇÃO

Define-se como cheia de projeto a vazão máxima ou a sequência de vazões extremas que uma obra possa suportar sem danos significativos para si e para populações e melhoramentos a jusante (FILL, 1981). O projeto, construção e operação da maioria das estruturas hidráulicas requer a seleção da cheia de projeto, que, é usualmente determinada por critérios técnicos após a análise dos registros disponíveis, aplicação de critérios hidrológicos, meteorológicos e estatísticos adequados, além da avaliação cuidadosa das consequências de falhas (CHOW, 1964). A sua determinação é uma etapa importante para os empreendimentos de recursos hídricos. A subestimação da vazão poderá causar desastres de consequências graves, assim como sua superestimação pode resultar em gastos desnecessários.

Existem atualmente diversos métodos para determinação da cheia de projeto. A escolha destes é condicionada pela disponibilidade de dados hidrológicos na região de estudo, das consequências de uma eventual falha e das preferências pessoais do projetista. Não raramente, quando se trata da obtenção de cheias para dimensionamento de obras em pequenas bacias hidrográficas, sejam elas para geração de energia ou abastecimento, a escolha do método fica limitada pelo primeiro quesito citado, a insuficiência de dados locais. A causa desta carência é a baixa densidade de postos fluviométricos do país, agravado ainda pelo fato da maioria de estações estar situada em grandes cursos d'água. Nestes casos a estimativa da cheia de projeto usando técnicas de regionalização pode ser útil (FILL, 1994).

Um dos modelos de regionalização é a chamada “análise de frequência regional”, que usa várias estações fluviométricas com características hidrológicas similares combinando estas através de um modelo probabilístico regional. A menos que se disponha de longas séries de vazões no local de interesse, este método em geral conduz a quantis de cheia mais eficientes (FILL, 1994; LU, 1991).

Esta pesquisa pretende progredir na estimação da cheia do projeto para pequenas bacias hidrográficas pela análise de frequência regional considerando a escassez de informações locais. Usando para tanto, técnicas mais avançadas de regionalização, procedimentos estatísticos robustos e

métodos de GIS para obtenção das características hidrográficas da bacia de drenagem e da precipitação (variáveis explicativas).

O objetivo principal desta pesquisa é estabelecer um método que possibilite a determinação da cheia de projeto para bacias hidrográficas de até 5000km², a partir de uma distribuição de probabilidades proposta para vazões máximas com parâmetros regionalizados. Para isto, resultam os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudo e Aplicação da distribuição GEV de probabilidades com parâmetros de locação e escala estimados pelo método dos Momentos-L e parâmetros de forma regionais.
- b) Automação na obtenção das características fisiográficas da bacia, e na interpolação dos dados pluviométricos; (variáveis explicativas).
- c) Desenvolvimento de um algoritmo de regressão regional WLS (*Weighted Least Squares*), comparando seus resultados com o método de regressão mais difundido, OLS (*Ordinary Least Squares*),
- d) Estudo de caso da Região Sul do Brasil com aplicação de testes na regressão.
- e) Avaliação da robustez e eficiência dos estimadores de quantis de cheias regionalizados.

Para tanto, o presente trabalho está estruturado em seis capítulos, incluindo esta introdução. O segundo capítulo consiste em uma revisão de literatura, onde são apresentados alguns dos métodos mais utilizados para determinação de cheias de projeto e de regionalização. No capítulo 3 é apresentado o desenvolvimento dos métodos de análise utilizados. O capítulo 4 delimita a área de estudo e introduz as rotinas utilizadas na aplicação do método. No capítulo 5 são discutidos os resultados obtidos e no último capítulo é feita a conclusão do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo tem por objetivo apresentar o estudo sobre a estimação de cheias de projeto, para fundamentar a metodologia desenvolvida no capítulo 3. Para isto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica acerca dos principais métodos utilizados em cada etapa desta dissertação.

Pode-se dividir os métodos para a determinação da cheia de projeto em duas abordagens na prática da engenharia: Os métodos diretos e os indiretos.

2.1 MÉTODOS INDIRETOS

Estes métodos definem inicialmente uma chuva de projeto associada a características climáticas críticas do local em estudo e posteriormente estima a vazão resultante dessa chuva de projeto mediante a representação do ciclo hidrológico por um modelo matemático. Assim este método pode ser utilizado em regiões com escassez de dados de vazão ou comportamento não estacionário da bacia, já que se baseia em dados de chuva, menos sujeitos a ações antrópicas. Para a aplicação dos métodos indiretos são necessárias duas etapas: (1) Obtenção de uma chuva de projeto através de registros de chuva intensa usando fórmulas empíricas ou métodos meteorológicos e/ou estatísticas (2) Transformação da chuva de projeto em vazão por meio de um modelo chuva-vazão calibrado.

2.1.1 Chuva de projeto

Dentre os métodos para definição da chuva de projeto podem-se citar os seguintes:

2.1.1.1 Fórmulas empíricas

Consistem na definição de uma função matemática arbitrária que relacione as chuvas intensas com o tempo de retorno e a duração em um determinado local. Os parâmetros desta função são obtidos de forma empírica,

por ajustes gráficos ou numéricos valendo apenas para região onde foram estimados. Este método é utilizado especialmente em obras de drenagem em áreas pequenas em conjunto com o método racional para transformação de chuva-vazão. Fendrich (1998) apresentou fórmulas empíricas para várias localidades no estado do Paraná. Pinto et al (1976) e Pfafstetter (1982) também desenvolveram fórmulas empíricas para muitos locais do Brasil.

2.1.1.2 Métodos Estatísticos

Consistem em ajustar às chuvas máximas de uma dada duração uma distribuição de probabilidades adequada, estimando seus parâmetros a partir da amostra disponível. A partir da distribuição de probabilidades ajustada, obtém-se valores para diferentes tempos de retorno e repetindo o procedimento para varias durações pode-se obter uma relação altura-duração-frequência. Entre a distribuição mais utilizadas para esta finalidade citam-se as distribuições de Gumbel e exponencial (CARVALHO, 2000). Para tempos de retorno inferiores a extensão do registro de observações métodos não paramétricos também são viáveis. Neste caso, a probabilidade de ocorrência de cada chuva intensa observada é estimada pela posição de plotagem (STEDINGER et al, 1993) e valores intermediários são obtidos por interpolação.

2.1.1.3 Precipitação Máxima Provável

Analisando-se as maiores tormentas observadas na região ou em regiões meteorologicamente similares procura-se maximizar o potencial de precipitação da atmosfera usando para tanto o ponto de orvalho a superfície e um modelo de atmosfera saturado. Adota-se como chuva de projeto para cada duração, aquela que seria o maior valor meteorologicamente “possível” na área em questão, para um modelo de atmosfera pseudoadiabática (WMO, 1973; CARVALHO, 2000)

2.1.2 Transformação chuva-vazão

Para transformar chuva de projeto em cheia de projeto, vários métodos estão disponíveis na literatura e são empregados na prática da engenharia:

2.1.2.1 Método racional

Método largamente utilizado na estimação de vazões de projeto de pequenas bacias hidrográficas (até 5km²) e sistemas de drenagem, consiste na transformação da chuva que ocorre na bacia para o escoamento superficial na exultória da mesma, partindo da hipótese de uma precipitação uniforme no tempo e no espaço, com tempo de duração igual ao tempo de concentração, e intensidade média constante. A vazão neste caso é diretamente proporcional à área da bacia e a intensidade da chuva, e é dada por:

$$Q = \frac{CiA}{3,6} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2.1)$$

Onde:

i = Intensidade media em mm/h;

A = Área de drenagem em km²;

C =Coeficiente de escoamento (adimensional);

2.1.2.2 Hidrograma unitário

Proposto por Sherman (1932) consiste no hidrograma resultante de uma precipitação efetiva unitária, uniformemente distribuída na bacia e com intensidade constante para tempos discretizados. Esta teoria baseia-se na hipótese de que para uma dada bacia, precipitações efetivas proporcionais com durações iguais produzirão hidrogramas proporcionais. Além disso, supõe-se que hidrogramas de precipitações sucessivas podem ser superpostos. Este método ainda exige a transformação da chuva observada em chuva efetiva, para tanto existem vários métodos descritos na literatura, tais como método CN, coeficiente de escoamento e modelos de infiltração (CHOW et al, 1988).

2.1.2.3 Modelos complexos de transformação chuva-vazão

Modelos mais detalhados de precipitação-vazão combinam processos hidrológicos como precipitação, evapotranspiração, infiltração, interceptação e escoamento subterrâneo em um modelo matemático que simula o ciclo hidrológico na bacia. Os parâmetros de vários processos são estimados via calibração de eventos de precipitações e vazões observadas. A modelagem é obtida através da integração destes processos que representam parte do ciclo hidrológico em nível de bacia ou sub-bacia. Existem atualmente diversos modelos disponíveis que diferem pelo grau de complexidade e detalhamento com que representam o ciclo hidrológico, dentre estes pode-se citar os modelos IPH II (TUCCI et al, 1981), SMAP (LOPES, BRAGA E CONEJO, 1982), Stanford IV (CRAWFORD, 1966), Topmodel (BEVEN E KIRKBY, 1979) entre outros.

2.2 MÉTODOS DIRETOS

Estes métodos utilizam na análise diretamente as vazões no local de interesse sem relacioná-las às precipitações que lhe deram origem. Embora existam também métodos empíricos (geralmente baseados em envoltórias das maiores vazões), na maioria das vezes baseiam-se em uma abordagem estatística por meio de análise de frequência, relacionando a magnitude dos eventos com sua probabilidade de excedência. Usam para tal uma função paramétrica ou não paramétrica da distribuição de probabilidade de vazões máximas. As vazões, para uma dada probabilidade acumulada, são estimadas invertendo-se a função de distribuição acumulada (FDA) correspondente, e o risco é especificado pelo período de retorno T , que nada mais é que o valor esperado do intervalo entre vazões iguais ou excedentes a vazão de projeto. Demonstra-se (ver CHOW et al, 1988) para o caso de variáveis aleatórias estacionárias e independentes, que período de retorno é igual ao inverso da sua probabilidade de excedência correspondente:

$$T = \frac{1}{(1-p)} = \frac{1}{(1-F_Q(q_T))} \quad (2.2)$$

Onde:

q_T = cheia de T anos;

$F_Q(q_T)$ = Função de distribuição acumulada;

Os resultados deste método dependem da escolha da distribuição de probabilidades e do método de estimativa dos seus parâmetros. As bacias hidrográficas reais são sistemas físicos de alta complexidade, sendo que a sua verdadeira distribuição de probabilidades mesmo se conhecida, teria formato muito complexo e parâmetros em excesso, o que as tornariam impraticáveis. Na prática, a distribuição ajustada nunca é a distribuição real da natureza, mas uma substituta conveniente e razoavelmente simples, escolhida a partir de varias famílias de distribuição disponíveis (STEDINGER et al, 1993).

Uma dificuldade inerente da análise de frequências é a escassez de dados, principalmente para áreas de drenagem menores onde na maioria das vezes os registros são curtos ou não existem. Deve se considerar que no caso de cheias de projeto normalmente tem-se $T > 100$ anos, enquanto a extensão do período de observação é, via de regra, inferior a 50 anos. O *US-National Research Council* (1989) recomenda para tanto três princípios para solucionar tal problema: 1) substituição de espaço pelo tempo; 2) maior estrutura nos modelos; 3) focalizar mais nas caudas do que no centro da distribuição de probabilidade.

Os hidrólogos propõem duas formas de obter mais informações sobre a distribuição de probabilidades para vazões de cheia: (1) uso de registros simultâneos de vazão de vários locais (substituição do espaço pelo tempo); (2) o uso de informações históricas (registros em jornais, livros e relatórios antigos) e evidências botânicas ou geofísicas de vazões no passado remoto. Essas informações quando combinadas com os registros sistemáticos no local permitem obter parâmetros mais precisos para as distribuições de probabilidade (STEDINGER e COHN, 1986; COHN E STEDINGER, 1987; STEDINGER E BAKER, 1987) e assim introduzir mais estruturas nos modelos. Neste trabalho será abordada apenas a primeira metodologia, conhecida na literatura como análise regional de frequências.

2.2.1 Análise Regional de Frequências

Assim como dito anteriormente, o método da análise regional de frequência (ARF) consiste no uso simultâneo de registros de vazão de vários locais que apresentam uma similaridade no regime de cheias (regiões homogêneas). A partir destes registros procura estimar vazões extremas para locais onde os registros hidrológicos locais são insuficientes para estimar as distribuições de máximas com eficácia. Existem na literatura diversos métodos para a análise regional de frequência, sendo que três destes que podem ser considerados os mais utilizados: 1) *Index flood* (cheia-índice) (DALRYMPLE, 1950, 1960), 2) Interpolação espacial e 3) Regressão regional. Muitas vezes na prática a ARF é efetuada usando uma combinação destas técnicas. Exemplos de outras técnicas de regionalização não discutidas neste trabalho são análise *cluster*, análise discriminante e análise de componentes principais (JOHNSON E WICHERN, 1992; KAVISKI, 1992), estes métodos lidam principalmente com a adequada definição de regiões homogêneas. Tucci (2002) apresenta uma revisão bastante abrangente sobre métodos de regionalização de diferentes variáveis hidrológicas.

Lu (1991) e Fill (1994) classificam os estimadores de cheias regionais conforme o número de parâmetros estimados localmente em 0P, 1P, 2P e 3P. Estimadores 0P usam apenas parâmetros regionais, 1P usam apenas o parâmetro de locação local e escala e forma regional, 2P usam apenas um parâmetro (de forma) regional, e 3P é o parâmetro tradicional local, como todos parâmetros estimados localmente.

Fill (1994) reporta que estimadores 1P são os mais eficientes para registros curtos de ordem de 10 anos, 2P apresenta-se como o mais eficiente para registros de 25 a 50 anos e o estimador 3P só se torna competitivo para registros de 100 anos ou mais.

2.2.1.1 Index Flood

O método *Index flood*, também chamado de método da regionalização da curva adimensional de frequências, assume que, com exceção de um fator de escala, a distribuição das vazões máximas anuais é essencialmente a

mesma em todos os locais situados em uma mesma região homogênea. Essa hipótese equivale a dizer que o coeficiente de variação das vazões máximas é constante na região de interesse. Este método já foi padrão do centro de pesquisas geológicas americano (USGS), mas como o coeficiente de variação das vazões máximas anuais apresentava muitas vezes decréscimo com o aumento a área de drenagem o *index flood* foi abandonado em meados da década de 70. Apesar disso, na década de 80 o seu uso foi resgatado com a utilização do método PWM (*Probability Weighted Moments*-Momentos de Pesos Probabilísticos) para estimação de parâmetros e uso da distribuição GEV. Esta variante é referida na literatura como GEV/PWM *index flood* e em geral fornece melhores resultados do que a distribuição Log-Pearson tipo III com estimativa de parâmetros pelo método dos momentos clássicos, procedimento recomendado no *Bulletin 17B* do *Water Resources Council* (WALLIS e WOOD, 1985; POTTER E LETTENMAIER, 1990).

2.2.1.2 Métodos de interpolação

Os métodos de interpolação espacial são usado com bastante frequência na regionalização da precipitação. Um dos métodos mais tradicionais é o traçado subjetivo de isoietas, ou seja, linhas de igual precipitação (anual, máxima diária, etc.) unindo pontos de observações idênticas (PINTO *et al*, 1976).

Esta técnica também é viável para interpolar vazões específicas, ou parâmetros de distribuições de médias, máximas ou mínimas e foi usada no projeto HG52 do CEHPAR para regionalização de vazões de estiagem, máximas e curvas de permanência (SANT'ANA *et al*. 1989).

Outros projetos de regionalização de vazões foram desenvolvidos no âmbito do CEHPAR com as siglas HG77 (KAVISKI *et al*, 1995) e HG171 (MAZER *et al*, 2002). Kaviski (1992) apresenta uma ampla discussão de diferentes técnicas de regionalização incluindo análise de *cluster* e discriminante.

Outras técnicas de interpolação espacial estabelecem o valor da variável em um dado local como uma combinação linear dos valores desta mesma variável em locais com medidas usando um conjunto de pesos W_i :

$$P_x = \sum W_i P_i$$

(2.3)

Onde:

P_i = precipitações medidas;

W_i = são pesos, com $\sum W_i = 1$;

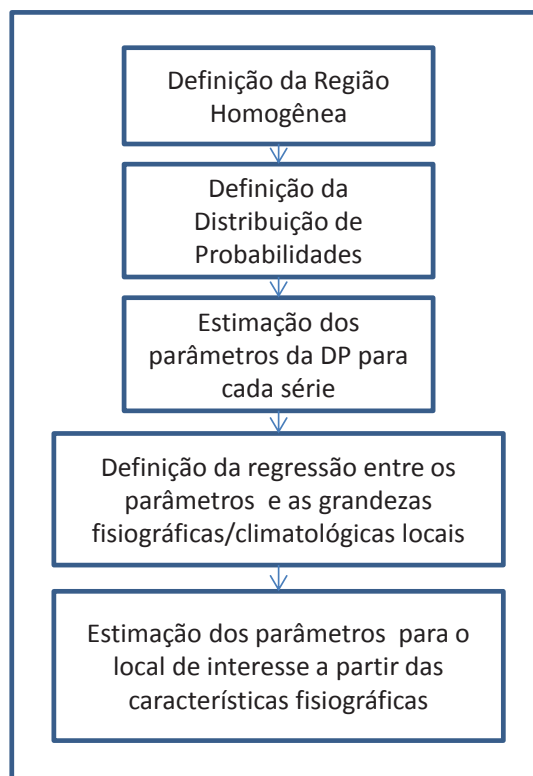
Neste caso, a forma de determinação dos pesos distingue vários métodos de interpolação tais como o método do inverso da distância, *spline*, multiquadrado e Kriging (KITANIDIS, 1993a). Particularmente o método de Kriging tem recebido bastante atenção ultimamente dado uma série de características tais como a natureza probabilística dos resultados e o fato de método poder ser automatizado em computadores (KITANIDIS, 1993b).

2.2.1.3 Regressão Regional

O método da regressão regional consiste em estabelecer uma regressão entre características fisiográficas e/ou meteorológicas da bacia de drenagem e quantis de vazões máximas ou parâmetros da distribuição destas. Geralmente tem sido usadas relações log-lineares e estimadores de mínimos quadrados.

Conforme Fill (1994) os precursores deste método foram Benson e Thomas (BENSON E THOMAS, 1962a, 1962b e 1964; THOMAS E BENSON, 1970) na década de 1960 usando mínimos quadrados ordinários (OLS) para estimar parâmetros. Para a aplicação destes métodos, como esquematizado na Figura 2-1, supõe-se primeiramente que uma mesma família de distribuição probabilística seja válida para todas as estações de uma região. A partir da estimativa dos parâmetros estatísticos para cada série disponível desta região, estabelece-se uma regressão entre estes parâmetros e as grandezas fisiográficas e meteorológicas, permitindo que se estimem os parâmetros da distribuição de probabilidades no local de interesse a partir de suas características fisiográficas e climáticas mensuráveis.

FIGURA 2-1- ETAPAS DO MÉTODO DE REGRESSÃO REGIONAL



FONTE: A autora (2013)

2.3 DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADES

O primeiro estudo compreensivo de associar vazões de cheias a uma distribuição de probabilidade remonta a Fuller (1914) que sugeriu uma relação semi logarítmica para o território dos Estados Unidos.

$$q_T = \bar{q} (1 + 0,8 \log T) \quad (2.4)$$

Onde:

q_T = vazão de cheia

T = tempo de retorno

\bar{q} = cheia média anual

Hazen(1914) também sugeriu a distribuição log-normal para descrever vazões de cheias e mais tarde desenvolver um método para aplicação prática desta distribuição que até hoje ainda é usada com frequência. Décadas após, Beard (1962) introduziu a distribuição log-Pearson tipo 3 (LP3) como modelo para estimar vazões máximas. Para essa distribuição foi desenvolvido um procedimento padrão pelo *Water Resources Council* dos Estados Unidos

denominado *Bulletim 17 B* para ser aplicado preferencialmente em obras hidráulicas nos Estados Unidos.

Nas décadas de 1940 e 1950 Gumbel (1954, 1956 e 1958) em uma série de artigos propôs a aplicação da teoria da distribuição assintótica de valores extremos na estimativa de vazões máximas, sendo que a teoria da distribuição de extremos foi unificada e generalizada por Jenkinson (1955) resultando na distribuição de extremos generalizada (GEV da sigla em inglês). A função de distribuição acumulada da GEV é dada por:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \kappa \left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{\kappa}} \right\} \quad (2.5)$$

Assim, atualmente três famílias distintas de distribuições para descrever cheias são empregadas na análise de frequência de cheias a saber log-normal, GEV e log-Pearson (STEDINGER *et al*, 1993), além de às vezes ser utilizada a distribuição exponencial de Fuller (FILL, 1994, DAMÁZIO, 1984), particularmente no Brasil.

Recentemente Santos (2012) mostrou que no caso da região sul do Brasil a distribuição GEV com parâmetro de forma regional se mostrou como a distribuição mais robusta entre várias alternativas analisadas. Outros pesquisadores como Hosking (1985 e 1986), Stedinger (1986b, 1992 e 1993), Lettenmaier (1985 e 1987), Fill (1994) nas décadas de 1980 e 1990 utilizaram a distribuição GEV com estimativa de parâmetros por PWM e a comparação de seus resultados com outros modelos para previsão de cheias normalmente favorecem a GEV (FILL, 1994).

2.4 ESTIMATIVA DE PARÂMETROS

Para cada distribuição de probabilidades existem vários métodos de estimativas de parâmetros sendo os mais usuais (SPANOS, 1989; NAGHETTINI E PINTO, 2007):

- f) Método dos momentos;
- g) Métodos da máxima verossimilhança;
- h) Método PWM ou dos momentos lineares;

2.4.1 Método dos Momentos

Apesar de ser o método de estimação mais simples, apresenta como resultados estimadores menos eficientes e de pior qualidade, se comparados aos outros métodos citados. Porém, cabe salientar, que para pequenas amostras, os estimadores apresentados obtidos neste método podem ter qualidade similar ao demais.

2.4.2 Método da Máxima Verossimilhança

Por produzir estimadores de menor variância assintótica, este método é considerado o método de estimação mais eficiente. Outras propriedades desejáveis destes estimadores se referem a serem assintoticamente não tendenciosos e normalmente distribuídos (SPANOS, 1989). Entretanto, para alguns casos a sua maior eficiência é assintótica, o que faz com que sua vantagem comparada com os outros métodos ocorra apenas com amostras de grande tamanho. Também para que suas propriedades sejam válidas é necessário conhecer a verdadeira distribuição de probabilidade da variável de interesse. Além disso, este método envolve soluções numéricas de equações normalmente não lineares e implícitas, o que implica em maior esforço computacional.

2.4.3 PMW e Momentos Lineares

O método PMW produz parâmetros de distribuições probabilísticas por um método semelhante ao dos momentos convencionais. Os seus estimadores resultam de combinações lineares das estatísticas de ordem das observações. Os momentos de pesos probabilísticos de ordem r são definidos como

$$\beta_r = E\{X[F(X)]^r\} \quad (2.6)$$

Estimadores não tendenciosos dos β_r podem ser obtidos pela expressão:

$$\hat{\beta}_r = \left[n \binom{n-1}{r} \right]^{-1} \sum_{i=r+1}^n \binom{i-1}{r} q(r) \quad (2.7)$$

Onde:

n = tamanho da amostra;

$q(r)$ = r -ésima estatística de ordem $[x_{(1)} \geq x_{(2)} \geq \dots \geq x_{(n)}]$;

$\binom{m}{r}$ = combinação de m elementos r a r ;

Assim resulta para os três primeiros momentos PWM:

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_0 &= \frac{1}{n} \sum x \\ \hat{\beta}_1 &= \frac{1}{n(n-1)} \sum (n-j)x(j) \\ \hat{\beta}_2 &= \frac{1}{n(n-1)(n-2)} \sum (n-j)x(j)(n-j-1) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Os momentos lineares são definidos como (Hosking e Wallis, 1997):

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= E(x_{1/2}) \\ \lambda_2 &= \frac{1}{2} E\left(x_{1/2} - x_{2/2}\right) \\ \lambda_3 &= \frac{1}{3} E\left(x_{1/3} - 2x_{2/3} + x_{3/3}\right) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Onde:

$x_{i/n}$ = i -ésima estatística de ordem de uma amostra de tamanho n ;

Os momentos lineares são relacionados aos PWM pelas expressões

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \beta_1 \\ \lambda_2 &= \beta_1 - \beta_0 \\ \lambda_3 &= 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Como os momentos-L são combinações lineares dos PMW, seus resultados dos dois métodos são equivalentes.

2.5 MÉTODOS DE REGRESSÃO

Métodos de regressão vem sendo usados há muito tempo em estudos hidrológicos. Na análise de frequência de cheias são empregados para

obtenção de estimativas de variáveis hidrológicas em locais sem observações ou melhorar a precisão dos estimadores em locais com poucas observações. A forma geral de um modelo de regressão múltipla é:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2.11)$$

Onde:

Y é a variável independente;

β são os coeficiente de regressão;

X são as variáveis explicativas;

ε é o erro;

Ao aplicar a equação 2.10 a um conjunto de observações a mesma pode ser escrita em forma matricial como:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (2.12)$$

Onde:

X = matriz (nxk) dos valores observados das variáveis explicativas com a primeira coluna igual a 1;

Y = vetor (nx1) das observações da variável dependente;

β = vetor (kx1) de parâmetros;

ε = vetor (nx1) de erros;

Na análise de regressão há de se distinguir entre erros ε e resíduos de e . Os erros resultam da equação 2.11 com β sendo os verdadeiros valores dos parâmetros enquanto os resíduos resultam ao se substituir na equação 2.11 os verdadeiros parâmetros por seus estimadores b ($e = Y - Xb$). Enquanto ε representa o fato da natureza ser mais complexa que o modelo o resíduo leva em conta também o erro amostral resultante de se dispor apenas de um número finito de observações.

Para se obter uma equação de regressão que permite previsões é necessário então estimar os coeficientes de regressão β_j ($j= 1, 2, \dots, k$). O método mais utilizado para esta finalidade é o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS), que visa minimizar a soma dos quadrados dos resíduos, obtendo-se para o estimador do vetor de coeficientes (GREENE, 2002):

$$\beta = (X'X)^{-1}X'Y \quad (2.13)$$

A matriz de variância dos parâmetros β é dada por:

$$Var(\beta) = \sigma^2 (X'X)^{-1} \quad (2.14)$$

Sendo σ^2 a variância comum dos erros ε e X' a transposta da matriz X .

A variância dos erros pode ser estimada por (GREENE, 2002):

$$s^2 = \frac{(e'e)}{(n-k)} \quad (2.15)$$

O método OLS fundamentalmente assume que os erros são independentes e tem a mesma variância (homoscedasticidade) além de apresentar média nula. Sob essa hipótese os estimadores de β (Eq. 2.13) são estimadores lineares, não tendenciosos e de mínima variância (BLUE = "Best Linear Unbiased Estimate) conforme o teorema Gauss Markov.

Na aplicação de testes de significância deve-se ainda assumir que os erros (e também os resíduos) são normalmente distribuídos.

Quando não há homocedasticidade, ou seja, a variância dos erros não é a mesma, o método OLS pode ser estatisticamente ineficiente, sendo necessária busca por outros métodos. Um estimador mais apropriado é o estimador dos Mínimos Quadrados Generalizados (GLS), que corresponde a aplicação do método OLS para uma versão linearmente transformada dos dados:

No caso do Método GLS onde a variância dos erros é a matriz $Var(\varepsilon) = \Sigma$ e os estimadores BLUE, dos coeficientes são dados por:

$$b_{GLS} = (X'\Sigma^{-1}X)^{-1}X'\Sigma^{-1}Y \quad (2.16)$$

E a variância dos estimadores b é dada por:

$$Var(b_{GLS}) = (X'\Sigma^{-1}X)^{-1} \quad (2.17)$$

A matriz Σ depende da distribuição dos erros e da natureza da variável dependente Y . Por exemplo, se Y é a média do logaritmo de vazões máximas suposto normalmente distribuído (distribuição log normal de vazões) resulta (STEDINGER E TASKER, 1985):

$$\Sigma_{ij} = \begin{cases} \frac{\sigma_i^2}{n_i} & i = j \\ \frac{\rho_{ij}\sigma_i\sigma_j}{n_i n_j} & i \neq j \end{cases} \quad (2.18)$$

Onde:

σ_i^2 = a variância do erro ε_i ;

ρ_{ij} = coeficiente entre ε_i e ε_j ;

Para distribuições distintas da normal, a matriz Σ pode ser estimada por técnicas de Monte Carlo (METROPOLIS E ULAM, 1949).

Já o método dos Mínimos Quadrados Ponderados (WLS) que será usado neste trabalho consiste em um caso particular do GLS onde todos os elementos fora da diagonal principal são nulas, o que corresponde a desigualdade das variâncias nos locais analisados, porém com correlação nula entre os valores observados. Para uma correlação entre as vazões máximas pequenas ou moderadas, Stedinger e Tasker (1985) reportam que a diferença, entre a eficiência dos estimadores, WLS e GLS é desprezível. Como a região estuda apresenta correlações pequenas/moderadas, neste trabalho foi escolhido o método WLS.

2.6 REGIÃO HOMOGÊNEA

O conceito de região homogênea é fundamental na regionalização hidrológica e se refere a um conjunto de estações hidrométricas ou uma parcela de território onde certas estatísticas das variáveis hidrológicas são constantes ou obedecem a um modelo definido em função de grandezas mensuráveis (FILL, 1994).

A definição da região homogênea como parte da análise regional de frequência para vazões de cheias, é uma das etapas mais complicadas, por estar sujeita a diversas subjetividades. Os métodos que podem ser utilizados para agrupamento de regiões homogêneas são categorizados como:

- i) Conveniência geográfica- baseados no agrupamento subjetivo dos postos em bacias hidrográficas, áreas administrativas ou zonas previamente definidas segundo limites arbitrários.
- j) Agrupamento subjetivo- baseados no agrupamento subjetivo dos postos em zonas com alguma característica similar, tal como relevo, climatologia e uso do solo.
- k) Agrupamento objetivo- os postos são agrupados de forma a minimizar critérios variados de heterogeneidade, além disso, são estabelecidos valores limiares para estatísticas de heterogeneidade do conjunto. (HOSKING E WALLIS, 1997).

- I) Análise de *cluster* – baseia-se em análise estatística multivariada, onde é associado a cada posto um vetor contendo suas características, estes são agrupados de forma que seja identificada a maior ou menor semelhança entre os vetores. (JOHNSON E WICHERN, 1992).

3 MÉTODOS DE ANÁLISE

Este capítulo tem por objetivo descrever os métodos propostos, justificando as escolhas entre as técnicas descritas na literatura.

O método, a ser detalhado e justificado nesta seção, consiste no caso da distribuição GEV e regionalização dos momentos lineares. Para melhorar o entendimento, será dividida em duas partes: (1) obtenção dos estimadores locais dos parâmetros GEV e (2) regressão regional dos estimadores.

3.1 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS GEV E SEUS ESTIMADORES

Como apresentado no capítulo anterior, os estimadores de máxima verossimilhança possuem propriedades bastante desejáveis para grandes amostras quando a verdadeira distribuição das variáveis é conhecida, entretanto podem não ser apropriadas em amostras pequenas ou se a distribuição ajustada não é a verdadeira. Neste caso, o método dos PMW apresenta-se bastante robusto na estimativa de parâmetros particularmente no caso das distribuições GEV e Pareto (Hosking, 1985, 1986).

Santos (2012) aplicou, aos dados de estações fluviométricas no Sul do Brasil, as distribuições de probabilidades usuais para eventos extremos, considerando máximos anuais e também sazonais. Ele verificou o melhor ajuste pelos critérios de robustez e de ajuste, observando que as distribuições GEV e Gumbel com estimativa de parâmetros por momentos lineares (ou equivalentemente por PMW) apresentaram os melhores resultados para ambos os critérios, tanto para máximos sazonais como para máximos anuais. Como a distribuição Gumbel constitui um caso particular da distribuição GEV, onde $\kappa=0$, optou-se neste trabalho por utilizar apenas a distribuição GEV.

Para estimar os parâmetros, ainda baseado no trabalho de Santos (2012) e das conclusões de vários autores (STEDINGER et al., 1993; FILL, 1994; HOSKING E WALLIS, 1997), utilizou-se o método dos Momentos-L equivalente ao modelo PWM, apresentado no capítulo anterior.

Segundo Fill (1994), o quantil 100p% da distribuição GEV pode ser expresso como função dos dois primeiros momentos-L, λ_1 e λ_2 , e do parâmetro

de forma κ . Fill (1994) ainda divide as distribuições regionais em três classes, 2P, 1P e 0P, dependendo do número de parâmetros estimados local ou regionalmente. A regionalização é dita 0P quando se utilizam três parâmetros regionais e nenhum local, 1P quando se utiliza apenas um parâmetro local (λ_1) e dois regionais (λ_2 e κ), 2P quando se utilizam dois parâmetros locais (λ_1 e λ_2) e um regional (κ). O estimador denominado 3P quando todos os parâmetros são estimados localmente é correspondente a uma análise puramente local sem regionalização. Este parâmetro só é competitivo para amostras da ordem de 100 anos ou mais (FILL, 1994).

Santos (2012) observou que para o parâmetro de forma κ , as regressões com características fisiográficas em geral não resultaram significativas no caso da região Sul do Brasil. Assim, neste trabalho foi adotado um estimador 2P. Para tanto, foi seguido o procedimento adotado por Fill (1994), que consiste na divisão das estações fluviométricas em sub-regiões, sendo o parâmetro de forma κ para cada sub-região estimado pela média ponderada dos parâmetros de cada estação pelo período de observação destas, usando o limites para os valores κ locais ($-0,3 < \kappa < +0,1$). O procedimento para estimação do parâmetro $\hat{\kappa}$ para cada estação, proposto por Hoshi, Stedinger e Burges(1984) é:

$$\hat{\kappa} = 7.859c + 2.9554c^2 \quad (3.1)$$

com

$$c = \frac{2\hat{\lambda}_2}{\hat{\lambda}_3 + 3\hat{\lambda}_2} - \frac{\ln 2}{\ln 3} = \frac{2}{\hat{\tau}_3 + 3} - 0.6309 \quad (3.2)$$

E os estimadores do parâmetro de forma regional $\hat{\kappa}_r$ é dado por:

$$\kappa_r = \frac{\sum n_i \kappa_i}{\sum n_i} \quad (3.3)$$

Os parâmetros λ_1 e λ_2 são estimados localmente mediante as equações apresentadas no capítulo anterior (2.7) e (2.9).

Os quantis de cheia podem ser estimados pelas expressões:

$$\hat{q}_p = \begin{cases} \lambda_1 + \frac{\lambda_2}{1 - 2^{-\kappa}} \left[\frac{1 - (-\ln(p))^\kappa}{\Gamma(1 + \kappa)} \right] \xrightarrow{\text{para}} \kappa \neq 0 \\ \lambda_1 \frac{\lambda_2}{\ln 2} [-0,5772 - \ln(-\ln(p))] \xrightarrow{\text{para}} \kappa = 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Onde:

\hat{q}_p = o estimador 2P do 100p-ésimo quantil.

κ o parâmetro de forma regionalizado usando as sub-regiões da tabela 3.2;

λ_1 e λ_2 os momentos-L de posição e escala, locais estimados por regressão;

$p = 1 - \frac{1}{T}$ é a probabilidade de não excedência do quantil q_p ;

3.2 REGRESSÃO REGIONAL DOS PARÂMETROS λ_1 E λ_2

A regressão consiste no ajuste de uma equação que permite estimar parâmetros estatísticos (variável dependente) a partir de grandezas mensuráveis conhecidas (variáveis explicativas) onde não se dispõe de dados ou onde o tamanho da amostra é insuficiente para obter estimativas confiáveis. Neste trabalho, as variáveis dependentes a serem ajustadas são os momentos dos parâmetros da distribuição probabilística para cada posto fluviométrico selecionado, cuja obtenção foi abordada no item anterior. Estas variáveis dependentes são associadas com as chamadas variáveis explicativas que consistem em características fisiográficas ou meteorológicas mensuráveis.

3.2.1 Variáveis Explicativas

O primeiro passo no estabelecimento prático da regressão regional é a divisão das estações em sub-regiões homogêneas definidas pelas variáveis “*Dummy*”.

O próximo passo consiste na escolha das variáveis explicativas. Essa escolha envolve um elevado grau de julgamento subjetivo, embora mais tarde, a significância de cada variável possa ser testada através de testes estatísticos apropriados e em função dos resultados destes testes algumas variáveis podem ser excluídas da regressão.

Fill (1992) associou a média e a variância da distribuição de probabilidades de vazões máximas com as seguintes variáveis explicativas:

- a) Logaritmo da área de drenagem;

- b) Logaritmo da declividade;
- c) Logaritmo do fator de forma;
- d) Logaritmo da média da precipitação máxima diária anual.
- e) Duas variáveis *Dummy*, com valores zero ou um, para caracterizar as sub-regiões supostas homogêneas. A Tabela 3.1 apresenta como estas foram definidas.

TABELA 3-1-VARIÁVEIS *DUMMY*

Regiões	X ₁	X ₂
1ºPlanalto	0	0
2ºPlanalto	0	1
3ºPlanalto	1	0

FONTE: Fill (1992)

No presente estudo, inspirado no trabalho de Santos (2012), foram definidas 4 sub-regiões homogêneas e consequentemente 3 variáveis *Dummy* conforme a TABELA 3-2.

TABELA 3-2-VARIÁVEIS *DUMMY* ADOTADAS

Regiões	X ₁	X ₂	X ₃
1	0	0	0
2	1	0	0
3	0	1	0
4	0	0	1

FONTE: A autora (2013)

Além das características fisiográficas adotadas por Fill (1992), foi utilizado o máximo potencial de retenção S, obtido a partir do número de curva do CN (do inglês *curve number*), em função do uso da terra e do tipo de solo na bacia. O método do Número Curva para estimar o escoamento superficial foi proposto pelo US *Soil Conservation Service* (CHOW et. al, 1988) sendo um método clássico em hidrologia para estimar o escoamento superficial a partir de eventos de chuva.

Neste trabalho foram adotados valores derivados daqueles publicados por Chow et. al, (1988) de acordo com o uso da terra e tipo de solo, reproduzidos na Tabela 3.6. Posteriormente foi calculado o máximo potencial de retenção para cada bacia, a partir da Equação 3.5.

$$s = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) 25,4 \quad (3.5)$$

TABELA 3-3-VALORES ADOTADOS PARA CN

Uso da Terra	Solo Arenoso	Solo Argiloso
Floresta	60	73
Cultura	76	83
Pastagem	70	80
Área Urbana	88	90
Superfície Líquida	98	98

FONTE: A autora (2013)

Resultaram, portanto, para a regressão inicialmente 8 variáveis explicativas, 5 características fisiográficas/meteorológicas e 3 variáveis *Dummy* listadas na Tabela 3-4.

TABELA 3-4-VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

	Variável explicativa
X1	ln(Área)
X2	ln(Declividade)
X3	ln(Coef. de Forma)
X4	ln(S)
X5	ln(Chuva)
X6	Dummy 1 (1,0)
X7	Dummy 2 (1,0)
X8	Dummy 3 (1,0)

FONTE: A autora (2013)

3.2.2 Modelo de Regressão

A última etapa da regressão regional dos parâmetros é a escolha do modelo de regressão propriamente dito. O modelo mais usado e mais simples para regressão é o OLS (*ordinary least squares*), que pressupõe igual variância e covariância nula entre os erros, ou seja, erros homoscedásticos. Contudo, frequentemente os erros não são homoscedásticos (por exemplo quando as diferentes estações tem observações de confiabilidade distinta), neste caso os estimadores dos coeficientes da regressão obtidos ao minimizar a soma dos quadrados dos resíduos não são estimadores não tendenciosos de mínima variância (BLUE). Tasker, (1980) e Stedinger e Tasker, (1986) mostram que neste caso o modelo OLS pode não ser de máxima eficiência propondo o uso dos modelos WLS (*Weighted Least Squares*) e GLS (*Generalized Least Squares*). Os modelos WLS e GLS resultam em estimadores mais eficientes para o caso de resíduos heteroscedásticos.

Os postos fluviométricos utilizados geralmente apresentam períodos de observações diferentes e, portanto, estimativas de cheias com diferente confiabilidade, sugerindo o uso do modelo GLS no lugar do modelo OLS. Entretanto, para correlações entre postos moderadas ou baixas, segundo Tasker e Stedinger (1989), os estimadores obtidos por GLS não são significativamente mais eficientes que os obtidos por WLS. Sendo assim, neste trabalho foi adotado o modelo WLS, utilizando uma matriz de variâncias diagonal, cujos elementos são inversamente proporcionais ao número de anos observados em cada posto.

O vetor dos coeficientes de regressão β é no caso do modelo WLS estimado pela expressão (GREENE, 2002):

$$\hat{\beta} = (X^T \Lambda^{-1} X)^{-1} (X^T \Lambda^{-1} Y) \quad (3.6)$$

Onde Λ é a matriz diagonal:

$$\Lambda^{-1} = \begin{bmatrix} n_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & n_i \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

A variância do vetor β é dado por:

$$Var(\beta) = \sigma^2 (X^T \Lambda^{-1} X)^{-1} \quad (3.8)$$

E a variância σ^2 pode ser estimada por:

$$\sigma^2 = \frac{(Y^T \Lambda^{-1} Y)^{-1} (\hat{\beta}' X' \Lambda^{-1} Y)}{n-k} \quad (3.9)$$

Para um conjunto de valores das variáveis explicativas X_0 ($k \times 1$) a equação da regressão para previsão de Y será então dada por:

$$Y_0 = X_0' \beta + \varepsilon \quad (3.10)$$

E o estimador pontual não tendencioso de Y será neste caso:

$$\hat{Y}_0 = X_0' \hat{\beta} \quad (3.11)$$

Uma vez que a variância de $\hat{\beta}$ é conhecida é possível estimar um intervalo de confiança para \hat{Y}_0 e portanto uma estimativa por intervalo de Y_0 dado por (Johnston, 1984):

$$\hat{Y}_0 = X_0 \hat{\beta} \pm t_{\alpha/2} \sigma^2 \sqrt{X_0 + (X' \Lambda^{-1} X)^{-1} X_0'} \quad (3.12)$$

Onde:

$t_{\alpha/2}$ = quantil da variável t de Student com n-k graus de liberdade.

Também é possível avaliar a significância de cada coeficiente de $\hat{\beta}$ por um teste F onde a estatística de teste é dada por (GREENE, 2002):

$$\hat{Y}_0 = \frac{\hat{\beta}}{s^2 \sum n_i (X_j^i)^2} \sim F(1, n-k) \quad (3.13)$$

Onde:

X_j^i = i-ésima observação da variável explicativa X_j ($j=1, 2, \dots, k$);

Uma generalização deste teste é o teste de uma restrição linear nos coeficientes do tipo $R\hat{\beta} = r$, com R sendo uma matriz ($q \times k$) e r um vetor ($q \times 1$). A estatística de teste resulta neste caso:

$$F = \frac{\{(r - R\hat{\beta})' [R(X' \Lambda^{-1} X)^{-1} R']^{-1} (r - R\hat{\beta})\} / q}{s^2} \quad (3.14)$$

$$\text{Ao fazer } R = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots 1 \end{bmatrix} (k-1 \times k) \text{ e } r = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} (k-1 \times 1) \text{ é possível testar}$$

a significância da regressão como um todo. Estes testes pressupõem que os resíduos sejam normalmente distribuídos. Testes para avaliar a existência de heteroscedasticidade estão disponíveis em Greene (2002).

Para testar a normalidade dos resíduos, para que os testes de significância acima sejam estritamente válidos, dispõe-se do teste de qui-

quadrado e o teste PPCC (*Probability Plot Correlation Coefficient Test*) proposto por Filliben (1975).

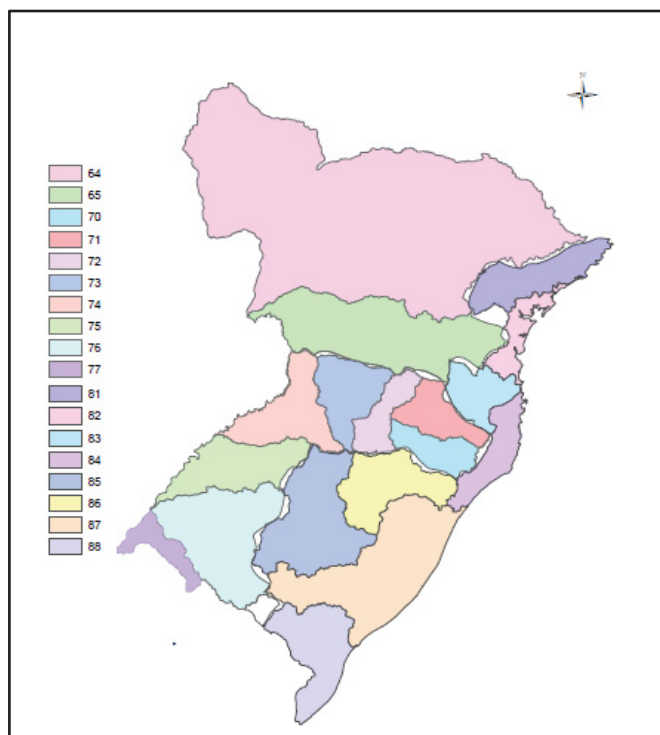
4 ESTUDO DE CASO

Tão importante quanto o seu desenvolvimento, o emprego do método de análise em um estudo de caso permite conhecer a suas limitações e avaliar a sua eficácia, validando ou não as hipóteses subjacentes. Para tanto, a aplicação consistiu na escolha de uma região de estudo que, juntamente com uma série de rotinas computacionais, possibilitou o teste do procedimento apresentado no capítulo anterior.

4.1 REGIÃO DE ESTUDO

O estudo de caso desenvolvido no âmbito desta pesquisa limita-se a região Sul do Brasil, compreendendo os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sendo abrangidas as sub-bacias hidrográficas 64,65, pertencentes à bacia do Paraná, 70, 71, 72, 73, 74, 75,76, pertencentes à bacia do Uruguai e 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87 e 88, pertencentes às bacias Litorâneas. Essas bacias seguem a classificação da ANEEL e são mostradas na Figura 4.1.

FIGURA 4-1-SUB-BACIAS ABRANGIDAS NO ESTUDO.



FONTE: A autora (2013)

Em consonância com o objetivo principal desta pesquisa, optou-se por utilizar apenas estações que apresentam áreas de drenagem inferiores a 5000km². Além disso, para manter os erros amostrais dentro de limites aceitáveis e possibilitar um tratamento estatístico adequado, todas as estações escolhidas contêm pelo menos 20 anos de registros consistidos, sem falhas ou com pequenas falhas passíveis de correção a partir de estações próximas pertencentes ao mesmo rio ou bacia.

Dentre as estações disponíveis distribuídas em 17 bacias, 85 atenderam aos requisitos citados acima e são listadas no Apêndice I, juntamente com as suas características principais (latitude, longitude, área de drenagem, período de observação). A Figura 4.2 mostra a localização destas estações.

FIGURA 4-2-LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS



FONTE: A autora (2013)

A qualidade medida pela variância amostral das estimativas dos parâmetros da distribuição de probabilidades de cada estação foi assumida como sendo inversamente proporcional à extensão do registro de observações.

Todas as séries históricas utilizadas neste trabalho foram obtidas do site Hidroweb da Agencia Nacional das Águas (ANA).

Para regionalizar parâmetro de forma κ da distribuição GEV, adotaram-se seis sub-regiões. Os parâmetros κ regionais estimados para cada sub-região definidas subjetivamente podem ser observados na Tabela 4-1

TABELA 4-1-PARÂMETROS κ REGIONAIS

Sub-Bacia	Códigos	K
Ivaí, Piquiri e Tibagi	64	-0.024
Iguaçu	65	-0.035
Uruguai Nacional	70 a 74	-0.049
Uruguai Internacional	75 e 76	0.011
Litorânea Norte	81 a 83	-0.012
Litorânea Sul	84 a 88	0.043

FONTE: A autora (2013)

Para determinação das variáveis *Dummy* que alteram o coeficiente linear da regressão optou-se por um número menor de sub-regiões com estações fluviométricas divididas em quatro sub-regiões a saber: (1) Bacia do Iguaçu, (2) Bacias Litorâneas, (3) Bacia do Uruguai e (4) o conjunto das bacias dos rios Ivaí, Piquiri e Tibagi. Esta divisão pode ser melhor observada na Tabela 4.2 e as variáveis *Dummy* para esta divisão na Tabela 4-3 .

TABELA 4-2-DIVISÃO DAS SUB-REGIÕES VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

Sub-Região		
Homogênea	Bacias	Código
1	Iguaçu	65
2	Litorânea	81 a 88
3	Uruguai	70 a 76
4	Ivaí, Piquiri e Tibagi	64

FONTE: A autora (2013)

TABELA 4-3-DIVISÃO DAS VARIÁVEIS *DUMMY*

Regiões	X ₁	X ₂	X ₃
Iguaçu	0	0	0
Litorânea	1	0	0
Uruguai	0	1	0
Ivaí, Piquiri e Tibagi	0	0	1

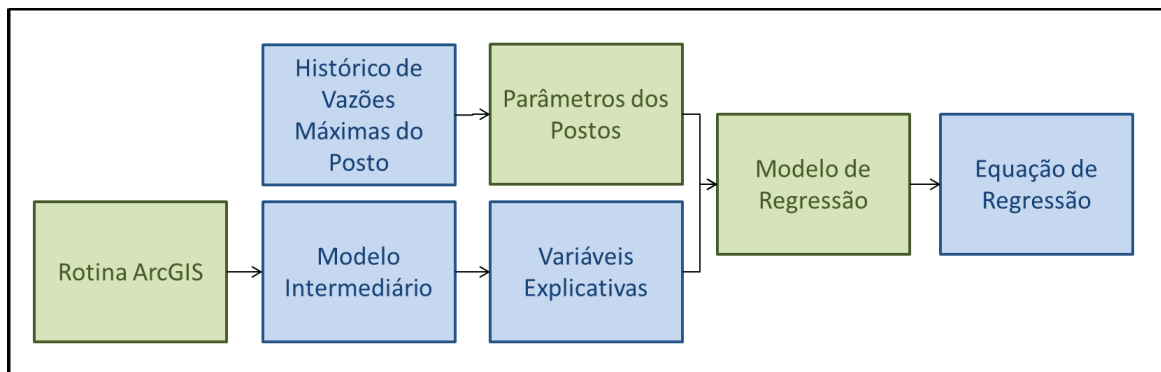
FONTE: A autora (2013)

Todas as variáveis explicativas neste trabalho utilizadas, com exceção das variáveis *Dummy*, foram obtidas através de uma rotina desenvolvida para o Software Arcgis, adaptadas para as condições deste estudo por um programa, desenvolvido em MatLab, denominado PROGA.

4.2 MODELOS DESENVOLVIDOS PARA APLICAÇÃO

Como foram utilizadas 85 estações fluviométricas, foi grande a quantidade de dados gerados e exigidos neste estudo. A fim de automatizar a obtenção de alguns dados, e manipulá-los, para a obtenção das equações de regressão foi necessária a confecção de programas computacionais específicos. Estes modelos estão divididos em uma rotina, em forma de ferramenta, no ArcGis e dois programas em Matlab. A Figura 4.3 mostra a sequência de utilização destes programas, bem como suas entradas e saídas

FIGURA 4-3-PROGRAMAS UTILIZADOS



FONTE: A autora (2013)

Uma apresentação mais detalhada de cada modelo computacional confeccionados neste trabalho pode ser observados nos itens seguintes.

4.2.1 Rotina em Arcgis

Para automatizar a obtenção das variáveis explicativas utilizadas na matriz **X** da regressão regional, e possibilitar a possíveis usuários a determinação destas mesmas variáveis em um ponto qualquer da bacia, (por exemplo para um estudo de cheias para locais de PCHs), foi desenvolvida uma rotina em Arcgis cujos dados de entrada, funcionamento e dados de saída são descritos abaixo.

4.2.1.1 Dados de entrada

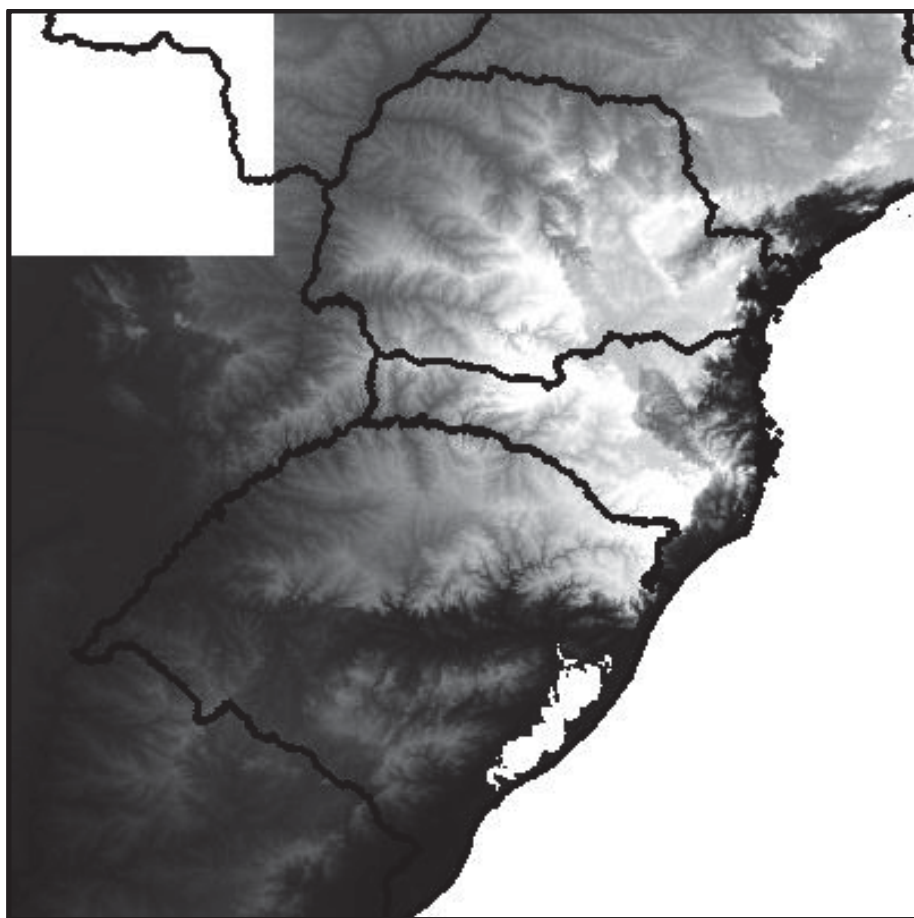
São quatro os dados de entrada da rotina em Arcgis:

- a) Modelo Digital do Terreno
- b) Mapas de uso da terra
- c) Mapas de Solos
- d) Chuva Máxima Diária Anual Média.

O modelo digital do terreno, DEM (do inglês *Digital Elevation Model*) ou MDE (Modelo Digital de Elevação), é uma representação matemática/computacional da topografia do terreno distribuído espacialmente oferecendo a altitude Z como função das coordenadas X e Y. O DEM é um

caso particular do DTM (*Digital Terrain Model*), onde é considerado como característica do terreno apenas a elevação. Os modelos utilizados neste estudo são imagens de radar do programa idealizado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), denominadas *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Estas imagens foram obtidas do site de monitoramento por satélite. O mosaico das imagens SRTM utilizadas nesta pesquisa pode ser visualizado na Figura 4.4.

FIGURA 4-4-MOSAICO DAS IMAGENS SRTM.



FONTE: A autora (2013)

Para o uso da terra foi gerado um mapa através de um arquivo em formato “*shapefile*”, compatível com o Arcgis, e é produto de um trabalho realizado pela EMBRAPA, que teve por objetivo a realização da carta de cobertura vegetal do Brasil, com base em dados diários do sensor *Vegetation*, do satélite Spot IV. Este mapa divide o uso da terra em vários subtipos, porém, como nesta pesquisa utilizaram-se apenas 5 tipos básicos de cobertura, as

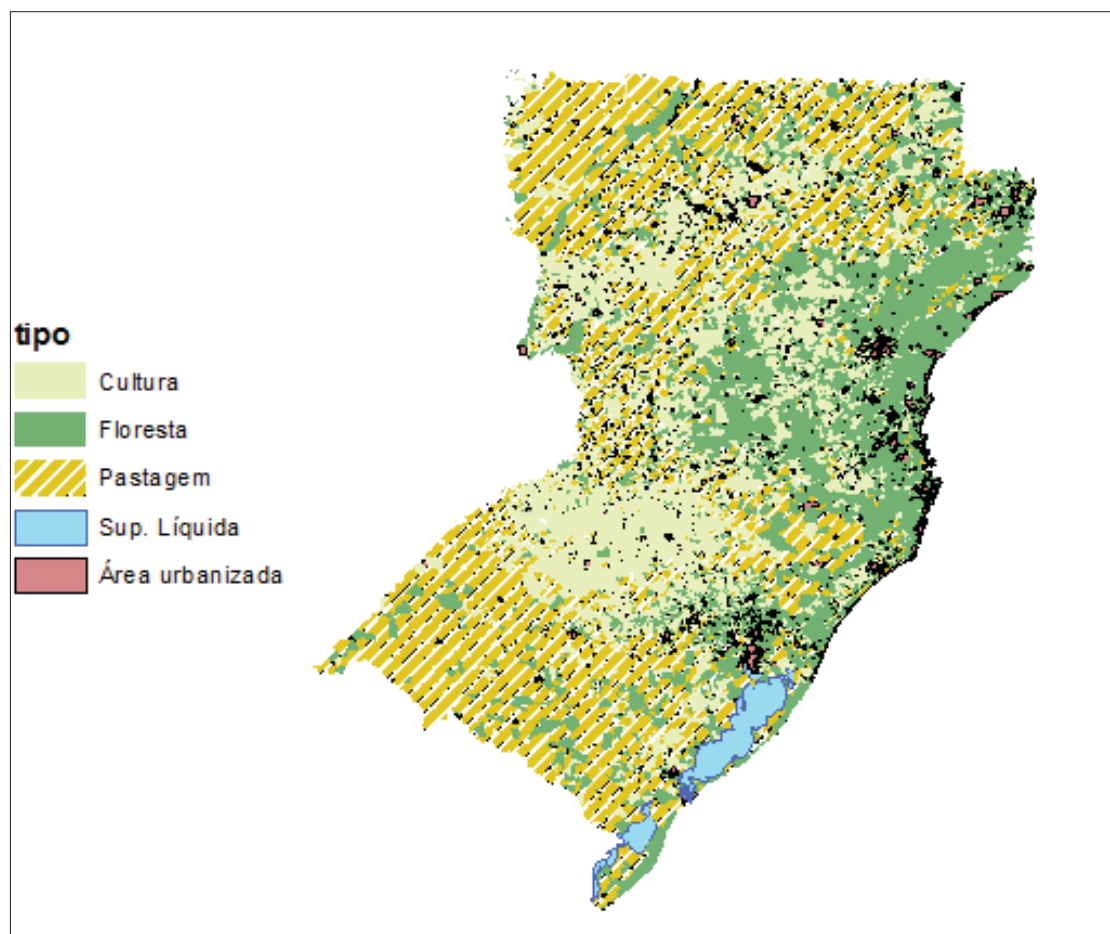
outras foram agrupadas. A Tabela 4-4 apresenta como foi feito o agrupamento dos subtipos de uso da terra considerados pela EMBRAPA nos subtipos utilizados neste trabalho. O mapa de uso da terra pode ser observado na FIGURA 4-5.

TABELA 4-4-USO DA TERRA

Tipo de uso da terra	Sub-tipos abrangidos
Floresta	Florestas ombrófilas densa, Florestas ombrófilas aberta, Florestas hidrófilas abertas com palmeira, Florestas estacionais semi-decíduais densa, Florestas estacionais semi-decíduais densa, Florestas estacionais semi-decíduais densa, Florestas estacionais semi-decíduais densa, Florestas de transição semi-decíduais aberta, Florestas com predomínio de bambú e cipós, Florestas arbustivas-arbóreas densa, Florestas arbustivas-arbóreas aberta.
Cultura	Manguezais, Mosaicos de agricultura, pastagens e vegetação arbórea alterada, Savanas arbustivas
Pastagem	Campos Inundáveis, Campos limpos, Agriculturas e pastagens permanentes dominantes, Mosaicos de vegetação não arbórea pastejada e pequena agricultura, Savanas graminosas, Rochas e solos nu ou com vegetação dispersa
Área Urbana	Áreas urbanizadas
Superfície Líquida	Igapós e várzeas, Corpos d'água naturais e artificiais

FONTE: A autora (2013)

FIGURA 4-5-MAPA DE USO DA TERRA



FONTE: A autora (2013)

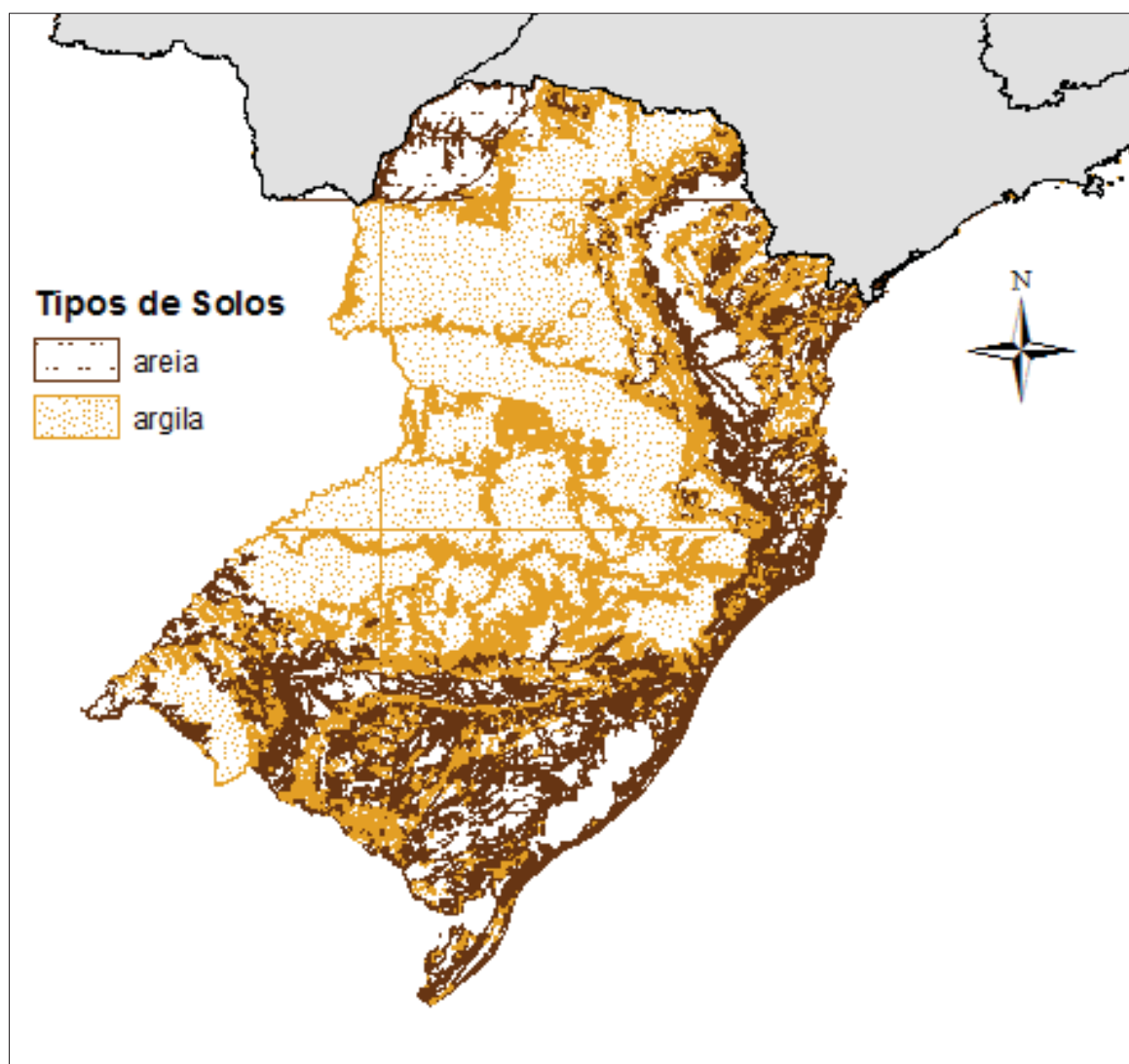
O mapa de solos, assim como o mapa de uso da terra, foi obtido no site da EMBRAPA, que também foi simplificado, agregando os diversos tipos de solo em 2 tipos básicos, argilosos e arenosos. A Tabela 4-5 apresenta como foi feita a simplificação dos subtipos de solo. O mapa de solos pode ser observado na Figura 4-6.

TABELA 4-5-TIPOS DE SOLO

Classe de solo	Sub-classes
Argiloso	Esposossolos, Argissolos, Chernossolos, Nitossolos, Organossolos, Neossolos, Planossolos, Luvissolos,
Arenoso	Cambissolos, Plintossolos, Gleissolos, Latossolos, Vertissolos

FONTE: A autora (2013)

FIGURA 4-6-MAPA DE SOLOS

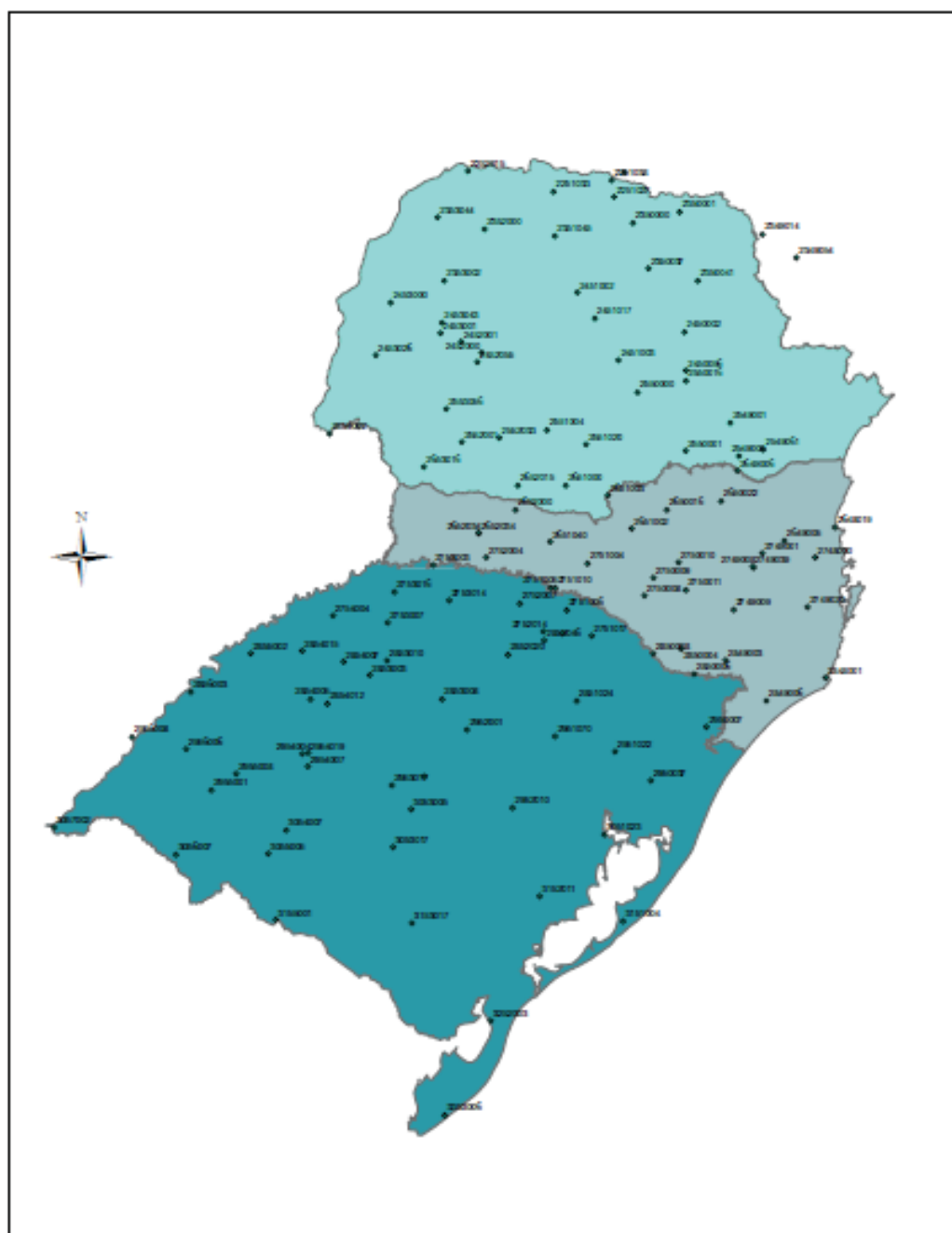


FONTE: A autora (2013)

Os postos pluviométricos selecionados para este estudo, assim como os postos fluviométricos, foram obtidos do portal HidroWeb, pertencente ao SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos). Dentre as estações disponíveis no site, foram selecionadas aquelas com mais de 20 anos, pertencentes às bacias em estudo, totalizando 115 estações. A chuva máxima diária anual média para cada posto foi calculada em Excel e depois exportada para Arcgis. As estações pluviométricas bem como as chuvas máximas diárias anuais podem ser observadas na

Fonte: A autora (2013)
e na Tabela A.2 do Apêndice II.

FIGURA 4-7-POSTOS PLUVIOMÉTRICOS



FONTE: A autora (2013)

4.2.1.2 Algoritmo da Rotina

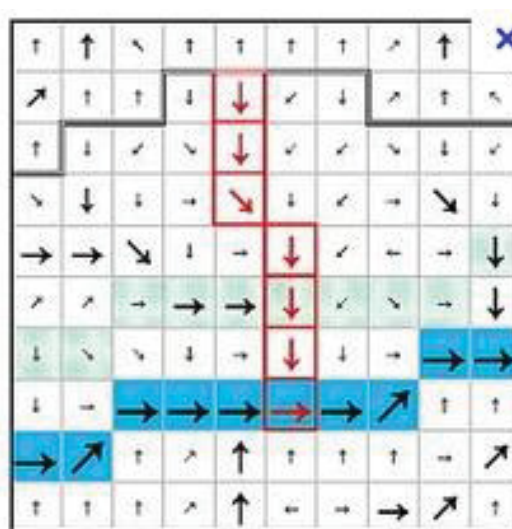
A rotina desenvolvida consiste no agrupamento de várias ferramentas disponíveis no Arcgis em uma só rotina, onde o usuário entra com a latitude e longitude da estação e aquela realiza automaticamente todos os procedimentos necessários. Para obtenção das variáveis explicativas, as ferramentas utilizadas foram divididas em duas rotinas, uma geral, que consiste em

preparar a imagem SRTM, e uma particular para cada bacia de drenagem, que realiza a extração dos dados propriamente ditos no ponto escolhido para a exutória. Assim, não será necessária a realização da primeira rotina, normalmente morosa, a cada vez que o usuário desejar obter dados em diversos pontos de uma mesma região do SRTM. As ferramentas utilizadas nesta rotina são apresentadas a seguir:

4.2.1.2.1 Direção do fluxo (*Flow direction*)

Consiste na geração de uma imagem com a direção do fluxo. O Arcgis analisa os *pixels* contidos na imagem SRTM e atribui direções para o fluxo de cada pixel seguindo sempre para o pixel de menor elevação. A Figura 4.8 exemplifica o método utilizado pelo Arcgis para determinar o pixel de maior fluxo.

FIGURA 4-8-DIREÇÃO DO FLUXO



FONTE: A autora (2013)

4.2.1.2.2 Acumulação do Fluxo (*Flow accumulation*)

A partir da direção do fluxo obtida na etapa anterior, os pixels recebem contribuições de fluxo de outros pixels. O objetivo desta etapa é acumular estas contribuições.

4.2.1.2.3 Demarcação da exutória

Aqui o usuário entra com as coordenadas do local de interesse, e a partir dos dados gerados pela rotina geral, o Arcgis realiza a delimitação da área da bacia, acompanhando os pixels de maior altitude a partir da exutória. Como o sistema de pixels pode apresentar pequenos erros de precisão, foi inserida uma tolerância de 1 km de raio para descartar a possibilidade de que o usuário digite uma coordenada fora do curso de um rio delimitado pelo Arcgis.

4.2.1.2.4 Uso da terra e tipo de solo

Com área delimitada, a rotina realiza em seguida o cálculo da parcela de área referente a cada tipo de uso da terra contido no mapa do uso da terra da área de estudo (região Sul). O mesmo é realizado para o mapa de tipo de solo.

4.2.1.2.5 Comprimento do talvegue

Usando os pixels de maior fluxo acumulado, partindo da exutória inserida pelo usuário, o Arcgis calcula o comprimento do talvegue principal do rio.

4.2.1.2.6 Chuva máxima diária anual

Primeiramente é extraído a partir da área anteriormente delimitada a partir da exutória, o baricentro da bacia hidrográfica. Após isso, é realizada a interpolação espacial utilizando o método do inverso da distância. Apesar do Arcgis possuir em suas ferramentas de análise espacial outros dois métodos de interpolação, o método *Spline* e o método de *Kriging*, por questão de simplicidade e redução no tempo de computação, optou-se pelo método mais simples disponível.

4.2.1.3 Saídas da Rotina

Para cada exutória inserida pelo usuário serão criados cinco arquivos em .txt, tipo de arquivo de entrada para o Matlab. São estes os arquivos:

- a) Arquivo contendo área da parcela da bacia para cada tipo de vegetação;
- b) Arquivo contendo área da parcela da bacia para cada tipo de solo;
- c) Arquivo contendo a altitude em cada pixel;
- d) Arquivo contendo o comprimento do talvegue;
- e) Arquivo contendo a média anual da máxima chuva diária.

4.2.2 Modelo para Agrupamento e Sintetização dos Dados de Saída do Arcgis-PROGA

A princípio desejou-se que a rotina do Arcgis realizasse automaticamente as etapas para todos os postos, porém, quando inserido mais de um posto como exutória, o software reconhece e agrupa as bacias criando como saída a soma das áreas dos dois postos, a soma das contribuições de uso do solo e assim para todas as etapas. Além disso, o método utilizado para criar a rotina, apesar de mais simples por não exigir que sejam modificados os códigos-fonte de cada ferramenta, não permite que sejam salvas todas as saídas em um só arquivo em formato .xlsx. Como o intuito de inserir no modelo de regressão as variáveis explicativas pelo usuário que este desejar, surgiu a necessidade de confeccionar um terceiro modelo em Matlab, denominado modelo intermediário, com objetivo de tratar e agrupar as variáveis características em um só arquivo, correspondente a matriz X, do modelo de regressão.

As entradas do modelo Intermediário correspondem as saídas da rotina do Arcgis, vistas no item anterior. O modelo Intermediário realiza uma rotina para cada variável explicativa citada no capítulo IV, salvando cada resultado em uma coluna do arquivo de variáveis, e depois repete esta rotina para cada posto, salvando em uma linha diferente. A seqüência de rotinas para obtenção destas variáveis está descrita abaixo:

- a) A área da bacia é calculada a partir da soma das parcelas de contribuição do uso da terra. Em seguida é obtido o seu logaritmo.

- b) Obtenção do coeficiente de uso da terra, a partir da atribuição de um valor para cada uso ponderando este coeficiente com a parcela da área correspondente. Esta etapa é realizada para as duas hipóteses do solo, obtendo-se dois coeficientes de uso da terra. Os valores atribuídos para cada uso, em função do tipo de solo, são apresentados na Tabela 4-6.

TABELA 4-6-VALORES DE ACN PARA CADA TIPO DE USOS DA TERRA PARA CADA TIPO DE SOLO

Uso da Terra	Solo Arenoso	Solo Argiloso
Floresta	0	0
Cultura	16	10
Pastagem	10	7
Área Urbana	28	17
Superfície		
Líquida	38	25

FONTE: A autora (2013)

- c) É atribuído um valor de CN mínimo para cada tipo de solo, que corresponde a 60 para arenosos e 73 para argilosos e em seguida são somados a estes valores os respectivos ACN para cada uso da terra e cada tipo de solo. Uma média ponderada, utilizando percentual da área de tipo de solo é feita para obtenção do CN médio das bacias. A partir do CN médio, é calculado então o potencial de retenção máximo S , conforme equação (3.5), e o logaritmo do deste
- d) Para o cálculo da declividade, primeiramente é localizado na matriz de altitudes dos pixels, o valor mínimo e o valor máximo. A subtração destes valores, dividida pelo comprimento do talvegue, resultam na declividade, o seu logaritmo é calculado posteriormente.
- e) O cálculo do coeficiente de forma é realizado a partir da divisão entre a área da bacia e o quadrado do comprimento do talvegue

principal. Após isto o, logaritmo do coeficiente de forma é calculado.

- f) Finalmente, é realizado o cálculo do logaritmo da média da chuva máxima diária anual, através da média dos valores nos postos pluviométricos ponderados pelo inverso da distância dos postos ao baricentro da bacia.

4.2.3 Programa de estimativa de parâmetros Locais-PARM

Este programa foi desenvolvido em Excel e estima para cada estação fluviométrica os valores de λ_1 , λ_2 e λ_3 utilizando para tanto as equações (2.7) e (2.9). é calculada também uma estimativa do coeficiente de assimetria-L $\tau_3=\lambda_3/\lambda_2$. Em seguida, o parâmetro de forma κ é estimado através das equações (3.1) e (3.2) sendo que sempre que $\hat{\kappa} > 0,1$ ou $\hat{\kappa} < -0,3$ o valor é substituído por um destes limites. Este procedimento procura manter os valores de coeficiente de forma em uma faixa realista para séries de vazões de cheias (LU, 1991). Em seguida, utilizando as sub-regiões da tabela 4.1, o estimador do parâmetro κ é regionalizado usando a equação (3.3), como saída obtém-se os estimadores λ_1 e λ_2 e κ , sendo os dois primeiros locais e o terceiro regional, para todas as 85 estações usadas.

4.2.4 Programa REG

Chama-se REG o algoritmo desenvolvido em MATLAB, que tem por objetivo resolver as equações matriciais para o método WLS, para os parâmetros estimados localmente das estações fluviométricas, λ_1 e λ_2 , e suas variáveis explicativas. Este modelo foi desenvolvido para ser flexível, de modo que o usuário possa atribuir qualquer tipo e quantidade de variáveis independentes e variáveis explicativas, usando o número de postos fluviométricos que necessitar.

As entradas para o REG são os parâmetros λ_1 e λ_2 calculados pelo programa PARM, representando as variáveis dependentes, as saídas do

algoritmo PROGA e o arquivo de variáveis *Dummy*. Todas os arquivos devem estar em formato .xls.

Como saída, além dos parâmetros β e o erro padrão, o modelo fornece os coeficientes de determinação, de Eficiência (NASH E SUTCLIFFE, 1970) o RMSE (*Root Mean Square*), para subsidiar a análise da sua eficiência

Os algoritmos de todos os modelos desenvolvidos neste estudo, bem como as entradas e saídas deste, podem ser observados no Apêndice II.

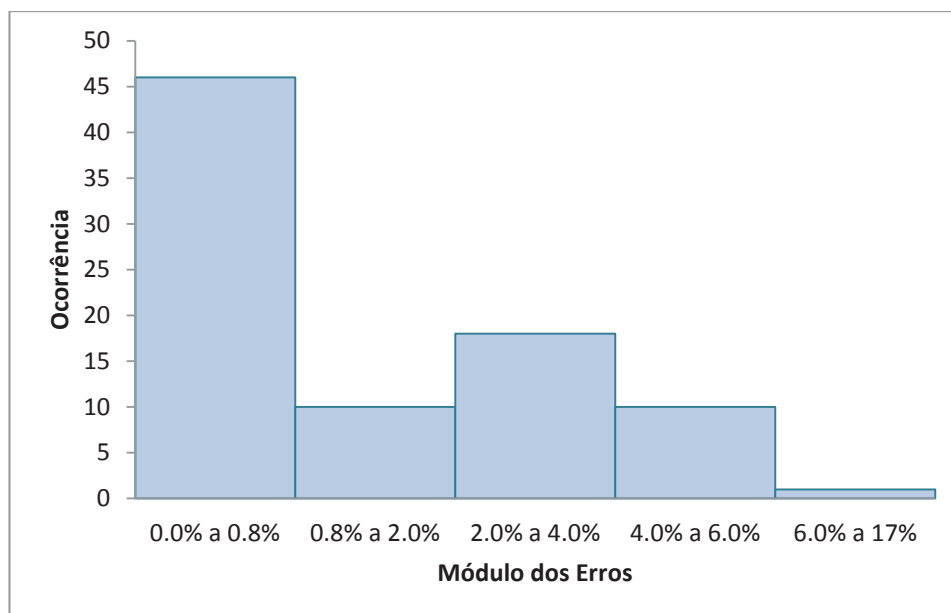
5 RESULTADOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar os resultados da aplicação da metodologia proposta e os testes aplicados para a validação do modelo.

5.1 TESTE DE EFICÁCIA DA ROTINA ARCGIS

Para testar a eficácia da rotina de obtenção de variáveis explicativas do ARCGIS, comparou-se a área de drenagem das estações calculada pela rotina e a área de drenagem retiradas da HIDROWEB. O erro foi determinado pelo quociente do módulo da diferença entre as áreas. O módulo do erro médio absoluto encontrado foi de 1,7%, o que para uma bacia com área de 1000km² equivale a apenas 17km² de erro. A distribuição quantitativa dos erros pode ser vista no GRÁFICO 5-1.

GRÁFICO 5-1 – DIFERENÇAS ENTRE ÁREAS DE DRENAGEM DAS ESTAÇÕES CALCULADAS E OBTIDAS PELA HIDROWEB.

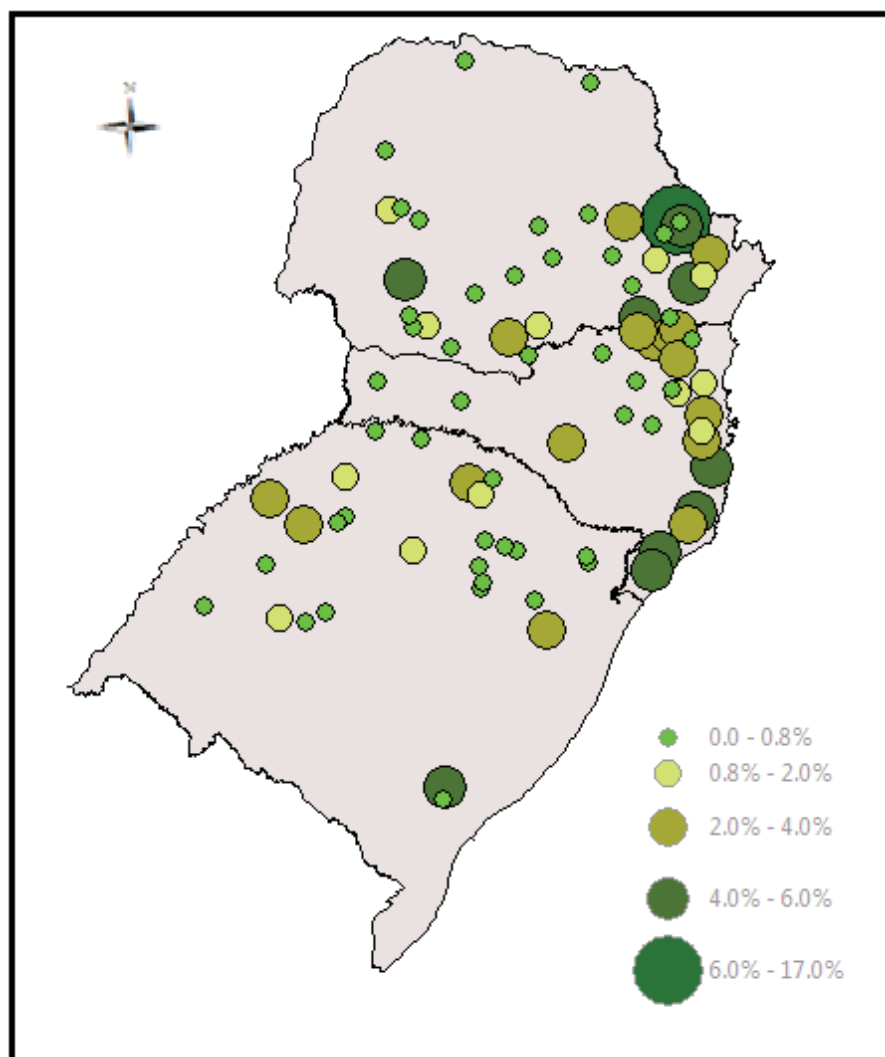


FONTE: A autora (2013)

Para algumas estações situadas em regiões muito planas, como no litoral, os *rasters* utilizados não apresentaram resolução suficiente, causando erro na rotina do Arcgis. Para contornar o problema, foram utilizados nestes

casos, *raster* de escala menor, como maior precisão. Como foram casos particulares e a maioria das estações não apresentaram grandes erros, decidiu-se não adotar estes raster para todo o estudo. Ainda assim, a maior concentração situou-se nas regiões próximas ao litoral, como é mostrado na Figura 5-1, porém a dimensão dos erros é aceitável.

FIGURA 5-1 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS ERROS.



FONTE: A autora (2013)

Além da área, foi verificada a declividade, através da comparação com os valores obtidos a partir de mapas altimétricos por Kern (2010). A diferenças ficaram abaixo de 15% para mais e para menos, como pode observar na Tabela 5-1:

TABELA 5-1-DIFERENÇAS ENTRE DECLIVIDADES

Estação	Dec. ArcGis	Dec. Kern	Diferença	Estação	Dec. ArcGis	Dec. Kern	Diferença
64360000	6.51	7.4	-14%	65925000	7.6	8.69	-15%
64390000	3.35	3.8	-13%	65927000	5.8	5.19	11%
64550000	3.39	3.3	3%	65955000	3.9	3.83	2%
64620000	1.85	1.7	10%	71498000	4.4	5.07	-15%
64625000	1.43	1.3	10%	73300000	7.6	7.46	2%
64775000	7.47	8.4	-13%	81125000	18.0	18.74	-4%
64810000	4.03	3.9	3%	81135000	6.7	7.03	-4%
65010000	5.67	5.3	6%	81300000	6.8	6.38	6%
65035000	6.25	6.0	5%	82320000	52.4	50.54	4%
65095000	1.80	1.6	12%	83050000	14.1	14.67	-4%
65100000	0.88	0.8	15%	83660000	28.7	30.37	-6%
65135000	2.09	2.2	-6%	83680000	18.0	20.15	-12%
65155000	2.73	2.5	8%	83900000	10.0	9.88	1%
65365000	22.29	25.6	-15%	84071000	14.3	16.22	-14%
65370000	2.92	3.0	-1%	84095000	14.3	14.28	0%
65415000	5.44	5.5	-1%	84100000	10.2	11.41	-11%
65810000	7.29	7.9	-8%	84580000	4.9	4.51	7%
65825000	3.84	3.6	6%	84600000	19.6	20.56	-5%

FONTE: A autora (2013)

As áreas e as declividades, bem como as demais variáveis explicativas resultantes da rotina, podem ser visualizadas no Apêndice I.

5.2 VALIDAÇÕES DO MODELO DE REGRESSÃO

A segunda etapa de resultados é inerente a utilização do modelo de regressão, e tem por resultado final a determinação da equação de regressão para os parâmetros λ_1 e λ_2 . Esta etapa compreende o ajuste, validação e comparação do modelo, para tanto foi embutido no Programa REG o cálculo de três coeficientes de análise de eficiência de modelos que são: (1) A raiz do erro

médio quadrado; (2) o coeficiente de determinação R^2 ; (3) o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe.

É importante utilizar mais de um coeficiente para análise, pois cada um traz vantagens e desvantagens para cada tipo de análise.

5.2.1 RMSE

O RMSE, a raiz quadrada do erro médio quadrático, é um critério conveniente para avaliar estimadores de parâmetros ou quantis. Quanto menor as estatísticas RMSE, melhor é a habilidade do modelo de fazer previsões. Sua vantagem é apresentar a mesma medida do valor predito, o que facilita a visualização do erro.

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum (Y_c - Y_o)^2}{n} \right)} \quad (5.1)$$

Onde:

Y_o = Valores observados;

Y_c = Valores calculados;

n = Número de valores;

5.2.2 Coeficiente de Determinação

O coeficiente de determinação (R^2) é a razão entre o quadrado da covariância dos valores observados e calculados pelo produto das variâncias destes valores, conforme a equação (5.2). O R^2 expressa a parcela da variabilidade da variável independente, linearmente descrita pelo modelo. Sua maior vantagem é a facilidade de entendimento, já que varia de 0 (nenhuma relação entre variáveis) até 1 (ajuste perfeito). Sua desvantagem é a grande sensibilidade a um ou mais pares de dados fora do padrão.

$$R^2 = \frac{[\text{cov}(Y_c, Y_o)]^2}{\text{Var}_{Y_c} \text{Var}_{Y_o}} \quad (5.2)$$

Y_0 = Valores observados;

Y_c = Valores calculados;

5.2.3 Coeficiente de Nash – Sutcliffe (NS)

Este coeficiente avalia a qualidade da predição de modelos. Quanto mais próximo de 1 mais representativo é o modelo em análise, para um valor resultante igual a zero, as previsões do modelo são equivalentes às médias das variáveis. Um coeficiente menor que zero, significa que as médias são uma representação melhor do evento do que o modelo empregado.

$$E = 1 - \frac{\sum_i^n (Y_0 - Y_c)^2}{\sum_i^n (Y_0 - \bar{Y}_0)^2}$$

(5.3)

Onde:

Y_0 = Valores observados;

Y_c = Valores calculados;

\bar{Y}_0 = Média dos valores observados.

5.3 ANÁLISE DE SIGNIFICÂNCIA DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

Combinações, eliminando cada vez uma das 5 variáveis explicativas e com as *Dummy*, foram testadas no programa de Regressão, para avaliar a significância das variáveis explicativas e então selecionar a melhor equação de regressão dos parâmetros. Os seus resultados foram comparados com o resultado da regressão utilizando todas as variáveis, como pode ser visto na Tabela 5-2, onde σ^2 é o erro padrão multiplicado pelo tamanho da amostra.

Os resultados obtidos mostram que tanto para λ_1 , como para λ_2 , regressão com todas as variáveis explicativas, embora com pequena diferença, obteve melhor resultado sobre as outras tentativas. Outro fator observado foi a superioridade do ajuste de λ_1 , sobre o de λ_2 , como é esperado, pois

normalmente a média se ajusta melhor a um modelo regional do que a variância.

Além disso, a significância das variáveis foi testada através do teste F, apresentado no capítulo 3. A Tabela 5-3 e a Tabela 5-4 mostram que novamente, tanto para λ_1 , como para λ_2 , a combinação com todas as variáveis resulta melhor.

TABELA 5-2- TESTE COM VARIÁVEIS EXPLICATIVAS.

tentativas	λ_1				λ_2				
	Obs.	σ^2	R ²	RMSE	NS	σ^2	R ²	RMSE	NS
1	Sem a LN (A)	0.111	0.509	0.502	0.805	0.127	0.448	0.668	0.797
2	Sem LN (D)	0.084	0.733	0.273	0.855	0.105	0.644	0.431	0.834
3	Sem LN (CF)	0.084	0.733	0.273	0.855	0.106	0.643	0.432	0.834
4	Sem LN (S)	0.085	0.723	0.283	0.848	0.105	0.645	0.43	0.833
5	Sem LN (P)	0.086	0.717	0.289	0.851	0.107	0.629	0.449	0.831
6	Com todas	0.084	0.735	0.271	0.855	0.106	0.645	0.429	0.834
7	Sem Dummy	0.098	0.638	0.37	0.831	0.547	0.548	0.956	0.831

FONTE: A autora (2013)

TABELA 5-3- TESTE F PARA λ_1

tentativas	1- α	99%	95%	90%
1	Todas	aceita	aceita	Aceita
2	Área	não	não	Aceita
3	Declividade	não	não	Não
4	Coef. Forma	não	não	Não
5	Potencial de Retenção.	aceita	aceita	Aceita
6	Chuva	aceita	aceita	Aceita
7	Dummy 1	não	não	Aceita
8	Dummy 2	não	aceita	Aceita
9	Dummy 3	não	não	Aceita

FONTE: A autora (2013)

TABELA 5-4- TESTE F PARA λ_2

tentativas	1- α	99%	95%	90%
1	Todas	aceita	aceita	Aceita
2	Área	não	não	Aceita
3	Declividade	não	não	Não
4	Coef. Forma	não	não	Não
5	Potencial de Retenção.	aceita	aceita	Aceita
6	Chuva	aceita	aceita	Aceita
7	Dummy 1	não	não	Aceita
8	Dummy 2	não	não	Aceita
9	Dummy 3	não	não	Aceita

FONTE: A autora (2013)

5.4 EQUAÇÃO FINAL DE REGRESSÃO

Partindo da superioridade do uso de todas as variáveis explicativas, constatado no item anterior, as equações de regressão para estimação dos parâmetros λ_1 e λ_2 foram então selecionadas:

$$LN\lambda_1 = -37,275 + 0,755LN(A) + 0,1LN(D) + 0,038LN(CF) + 1,21LN(S) + 7,37LN(P) + 0,4895D1 + 0,5579D2 - 0,3573D3 \quad (5.4)$$

$$LN\lambda_2 = 9,41 + 0,774LN(A) + 0,142LN(D) + 0,1LN(CF) - 1,021LN(S) - 1,495LN(P) + 0,484D1 + 0,555D2 - 0,362D3 \quad (5.5)$$

Onde:

A=área em (km²);

D=Declividade (m/m);

CF=coeficiente de forma;

S= máximo potencial de retenção;

P=precipitação (mm);

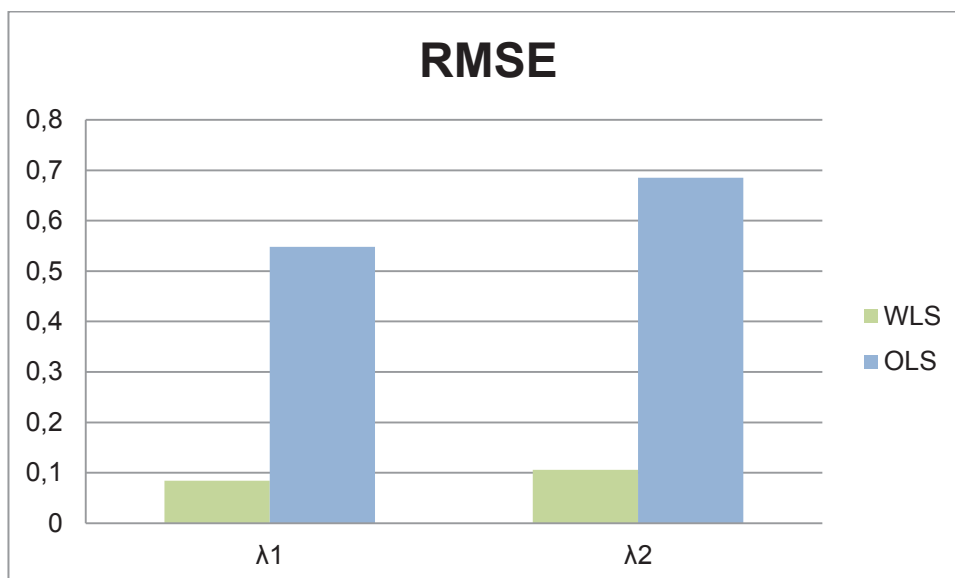
D1, D2 e D3=variáveis *Dummy*.

5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA REGRESSÃO

Um dos objetivos deste trabalho é a verificação da eficácia do método WLS. Para isto, através de uma adaptação do programa REG, foram obtidas as

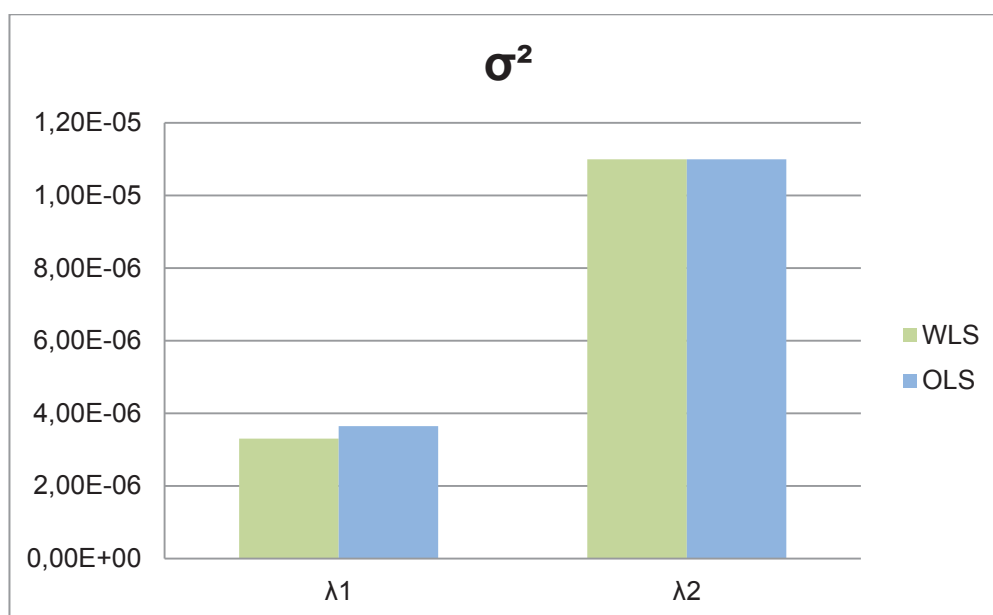
equações de regressão por OLS, método mais simples e muito utilizado. As estatísticas de validação podem ser vistas na Tabela 5-5 e nos GRÁFICO 5-2 e GRÁFICO 5-3, onde são comparados aos respectivos valores para o método WLS.

GRÁFICO 5-2 –RESULTADO RMSE -WLS



FONTE: A autora (2013)

GRÁFICO 5-3 – RESULTADO σ^2 -WLS



FONTE: A autora (2013)

TABELA 5-5- COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DAS REGRESSÕES WLS E OLS.

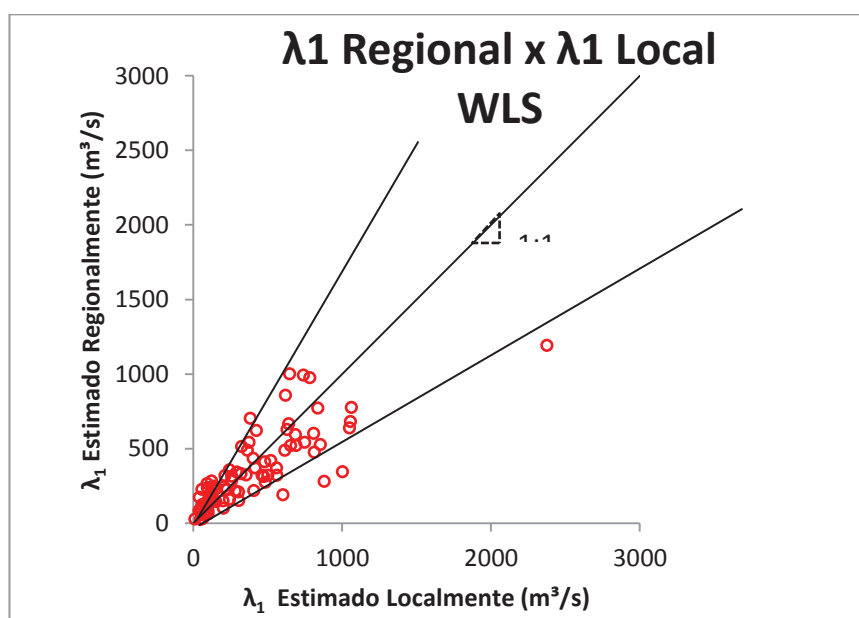
	parâmetro	RMSE	Sig ²
WLS	λ_1	0.0843	3.3E-06
	λ_2	0.106	1.1E-05
OLS	λ_1	0.548	3.65E-06
	λ_2	0.685	1.1E-05
OLS/WLS	λ_1	6.52	1.11
	λ_2	6.46	1,00

FONTE: A autora (2013)

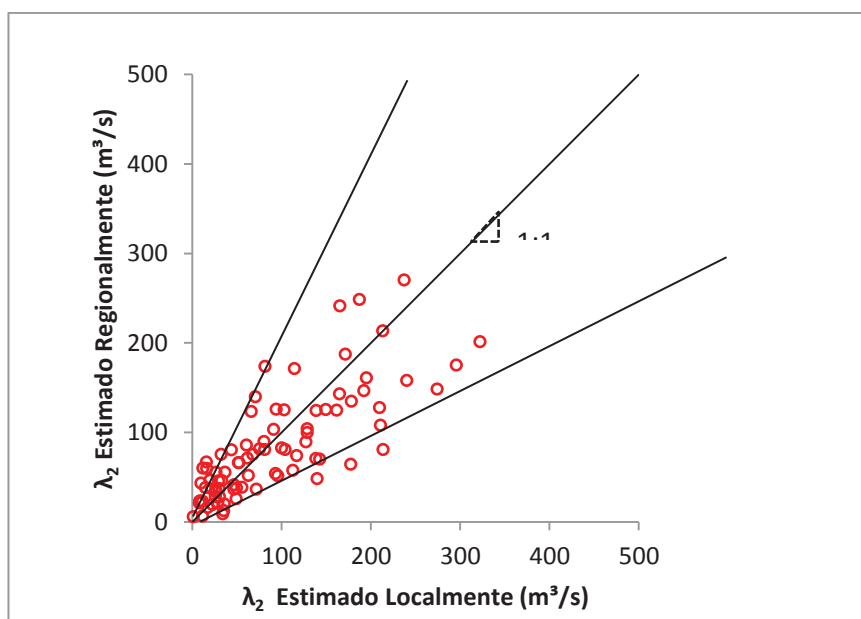
Observa-se pela Tabela 5-5 a superioridade do método WLS, resultando em RMSE e σ^2 menores.

Os GRÁFICO 5-4 e GRÁFICO 5-5 mostram diagramas de dispersão para os valores de λ_1 e λ_2 estimadas localmente e estimadas por meio da regressão WLS.

GRÁFICO 5-4 – DISPERSÃO λ_1 -WLS



FONTE: A autora (2013)

GRÁFICO 5-5 – DISPERSÃO λ_2 -WLS

FONTE: A autora (2013)

Observa-se um ajuste bastante razoável com os valores locais distribuídos em torno dos valores regionais, com uma dispersão razoável com cerca de 80% dos pontos em uma faixa de $\pm 50\%$.

A tabela listando $\lambda_{i_{regional}}/\lambda_{i_{local}}$ para todas as estações analisadas é mostrada no apêndice I, Tabela A4.

5.5.1 Resultados dos Quantis de Cheia Estimada

A fim de avaliar os resultados finais da regressão, foram selecionadas ao acaso 20 estações, 5 para cada sub-região homogênea, e estimou-se, a partir da equação obtida pelo modelo REG, os parâmetros λ_1 e λ_2 . Substituindo estes e do κ regionalizado na equação 3.4, foram obtidos as vazões de cheia para cada tempo de retorno. O mesmo foi feito com os parâmetros observado, a Tabela 5-6 e os Gráficos GRÁFICO 5-6 GRÁFICO 5-10, mostram o resultado desta comparação.

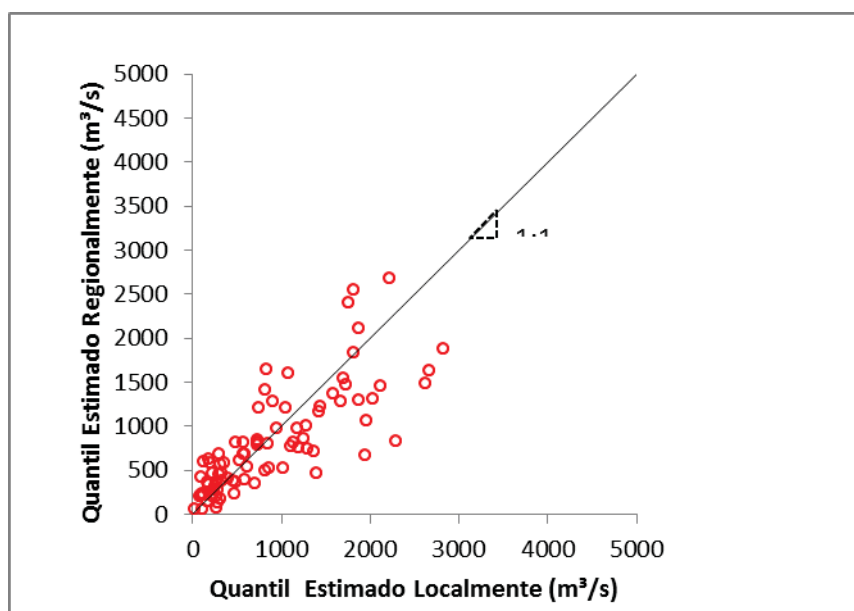
TABELA 5-6- DIFERENÇA ENTRE ESTIMADOS E OBSERVADOS

Cód.	100 anos	500 anos	1000 anos	5000 anos	10000 anos
64360000	-77.69%	-81.91%	-83.22%	-85.57%	-86.36%
64440000	28.16%	27.94%	27.87%	27.75%	27.70%
64475000	-13.39%	-16.29%	-17.19%	-18.78%	-19.31%
64620000	-15.44%	-14.60%	-14.32%	-13.82%	-13.65%
64810000	44.65%	46.45%	47.05%	48.19%	48.60%
65090000	40.65%	42.51%	43.13%	44.30%	44.71%
65095000	21.46%	22.79%	23.23%	24.04%	24.33%
65925000	-62.28%	-63.00%	-63.23%	-63.65%	-63.80%
65955000	-33.84%	-32.12%	-31.55%	-30.50%	-30.14%
71498000	15.87%	14.45%	13.99%	13.18%	12.90%
73300000	-30.47%	-31.66%	-32.04%	-32.73%	-32.96%
73480000	12.28%	10.53%	9.98%	9.00%	8.67%
75185000	43.48%	43.96%	44.11%	44.39%	44.49%
76440000	-69.17%	-69.99%	-70.26%	-70.73%	-70.89%
81140000	42.98%	41.72%	41.33%	40.64%	40.40%
83345000	-30.23%	-30.01%	-29.94%	-29.80%	-29.76%
84071000	26.84%	26.91%	26.94%	26.98%	26.99%
86410000	-42.96%	-44.71%	-45.25%	-46.22%	-46.55%
87160000	-18.43%	-18.22%	-18.16%	-18.04%	-18.00%
88750000	2.82%	3.64%	3.90%	4.37%	4.53%

FONTE: A autora (2013)

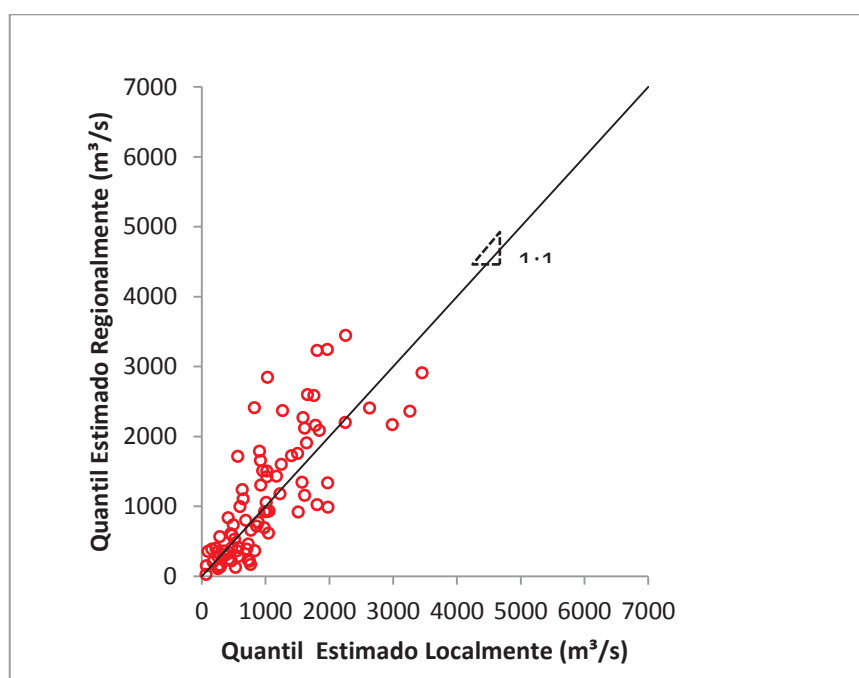
Apenas 3 estações (15%) apresentaram diferenças superiores a 50%, o que pode ser considerado satisfatório para tempos de retorno tão elevados. Além disso, os quantis estimados localmente não podem ser tomados como valores reais devido ao erro amostral dos estimadores dos parâmetros.

GRÁFICO 5-6 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=100ANOS



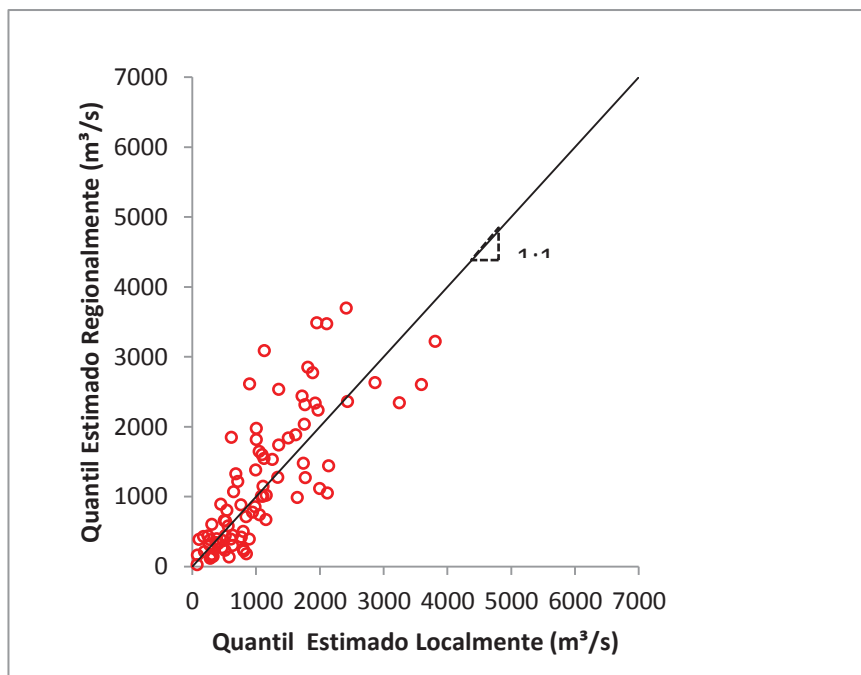
FONTE: A autora (2013)

GRÁFICO 5-7 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=500ANOS



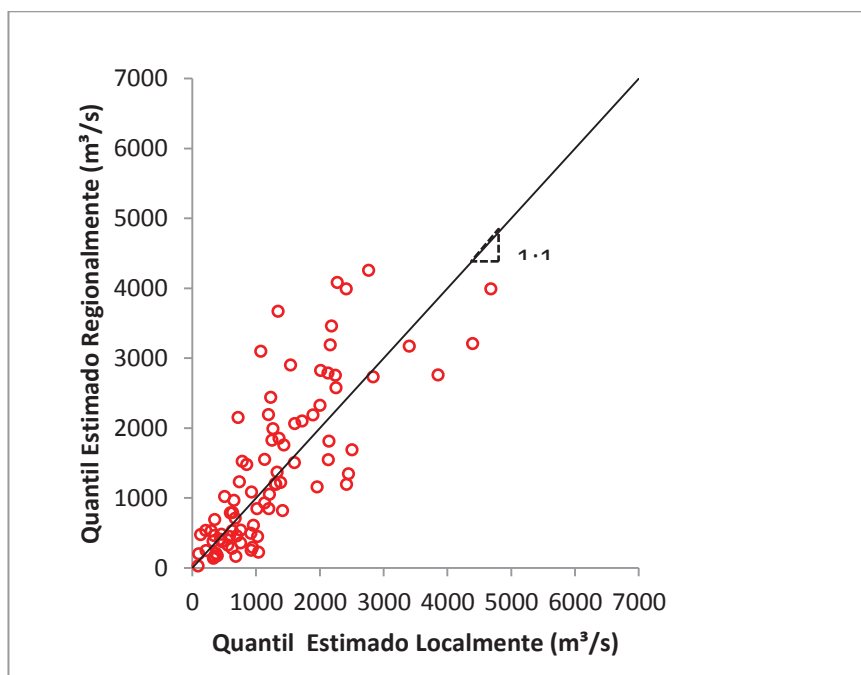
FONTE: A autora (2013)

GRÁFICO 5-8 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=1000ANOS



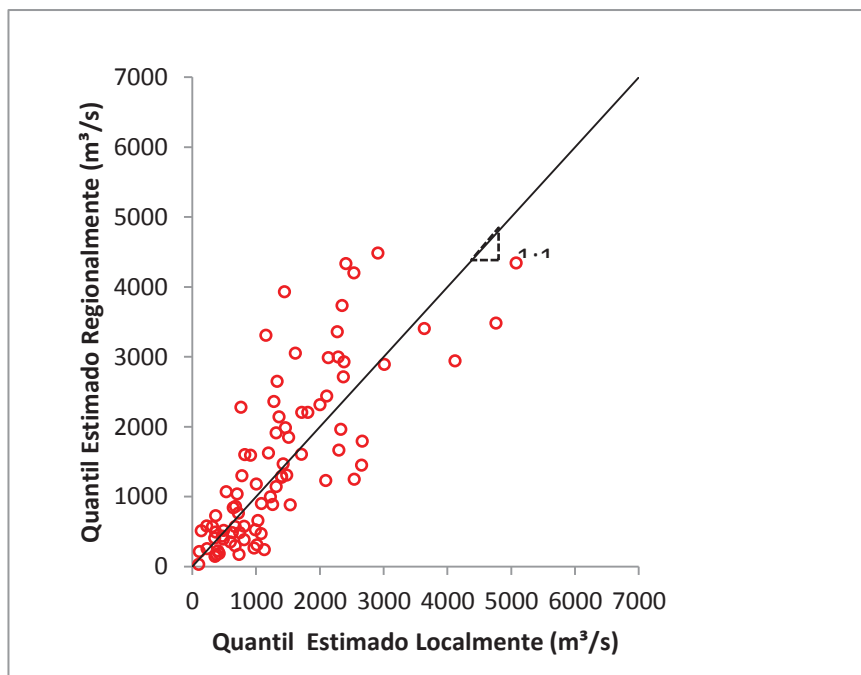
FONTE: A autora (2013)

GRÁFICO 5-9 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=5000ANOS



FONTE: A autora (2013)

GRÁFICO 5-10 – DISPERSÃO QUANTIS COM TR=10000ANOS



FONTE: A autora (2013)

Como as estações analisadas tem registros entre 24 e 74 anos, o estimador 2P, que foi usado para comparação seria o mais eficiente (FILL, 1994), ou seja, mais próximo do verdadeiro quantil.

Assim como nos parâmetros λ_1 e λ_2 , observa-se um ajuste com os valores locais distribuídos em torno dos valores regionais, com uma dispersão com cerca de 90% dos pontos em uma faixa de $\pm 50\%$.

Observa-se ainda que as partes fora desta faixa na sua maioria tendem a superestimar a cheia de projeto, o que é menos danoso do que a subestimação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Talvez a conclusão mais relevante deste trabalho seja mostrar que o método WLS apresenta um desempenho superior ao tradicional método OLS. Também se observam diferenças entre as estimativas locais (2P) (um κ regional) e regionais via regressão na maioria dos casos inferiores a 50% o que é razoável na estimativa de quantis de cheia com elevados tempos de retorno e escassez de informações.

Outro mérito do presente trabalho é o uso de técnicas GIS para a obtenção automática das variáveis explicativas o que permite estimar cheias em qualquer local dentro da região analisada (região Sul do Brasil) bastando informar as coordenadas do local de interesse.

O encadeamento das várias rotinas computacionais (Arcgis, PROGA, REG) para obtenção de quantis de cheia em um local qualquer, permite que o presente trabalho (talvez com pequenas adaptações para entrada de dados) possa ser de grande utilidade prática no projeto de pequenas centrais hidrelétricas (PCH).

Embora para uma extensão de registros de 25 anos o método 2P (2 parâmetros locais e 1 regional) segundo Fill (1994) mostrou-se superior a outros métodos regionais, o verdadeiro valor do quantil em um local pode não coincidir com a estimativa local, o que de certa forma afeta os índices de ajuste calculados.

Além disso, o modelo desenvolvido permite obter estimativas de vazões de cheia em locais sem registros.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros nesta linha de pesquisa ampliar o leque das variáveis explicativas para reduzir a variância dos resíduos. Também se recomenda o uso do método de Monte Carlo para estimar os desvios tanto dos obtidos por regressão como das estimativas com parâmetros locais em relação aos verdadeiros quantis de uma distribuição suposta verdadeira.

O uso de um número maior de estações- mesmo com período de observações menor também deve ser investigado.

Também o emprego de outras técnicas de interpolação (kriging, splines cúbicos) para obtenção da chuva na bacia pode se constituir em uma pesquisa futura.

A extensão da técnica desenvolvida neste trabalho para outras regiões seria de grande valia para a sua utilização na prática de projetos de PCH.

Finalmente, seria interessante desenvolver modelos de regressão regional para cheias baseadas em GLS (*Generalized Least Squares*) para considerar as correlações dos quantis de cheias em locais próximos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb:
<http://www.hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 14/05/2012.
- BEARD, R. **Statistical Method in Hydrology**, Sacramento: US Army Corps of Engineers, 1962
- BENSON, M. A. **Evolution of Methods for Evaluating the occurrence of Floods**, Washington DC: US Govt. Printing Office, 1962. (USGS Water Supply Paper 1580-A).
- BENSON, M. A. **Factors Affecting the Occurrence of Floods in the Southwest**, Washington DC: US Govt. Printing Office, 1964. (*USGS Water Supply Paper 1580-D*)
- BENSON, M. A. **Factors Influencing the Occurrence of Floods in a Humid Region of Diverse Terrain**, Washington DC: US Govt. Printing Office *USGS Water Supply Paper 1580-B*, 1962a.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A. **Physically Based, Variable Contributing Area Model of Basin Hydrology** , Hydrological Sciences Bulletin, 1979. v.24, p.43-69.
- CARVALHO, M.C.L., **Análise regional da precipitação máxima provável do Estado do Paraná**, 142 f, dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- CHOW, V. T. (Ed.). **Handbook of Applied Hydrology**. Nova York: McGraw Hill, 1964.
- CHOW, V. T., D. R. MAIDMENT and L. W. MAYS, **Applied Hydrology**. Nova York: McGraw Hill, 1988.
- COHN, T.A. and STEDINGER, J.R. **Use of Historic Information in a Maximum Likelihood Framework**, Journal of Hydrology, 1987. p.215-223.
- CRAWFORD, N.H. and LINSLEY, R.K. **Digital Simulation in hydrology: Stanford Watershed Model IV**. Palo Alto: Stanford University, 1966. Tech. Rep. No. 39.
- DALRYMPLE, T. Flood Frequency Analysis, **Geological Survey Water Supply** Washington: US Department of the Interior, Paper 1543-A, 1960.
- DALRYMPLE, T. **Regional Flood Frequency**: Surface Drainage, Washington, DC: Highway Research Board, 1950. Research Report N° 11-B Committee Report and Three Papers Presented at the 29th Annual Meeting.

DAMAZIO J. M. **Comment on Quantile Estimation with More or Less Floodlike Distributions**, Water Resources. Res., 20(6), p. 746-750, 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Mapa da cobertura vegetal do Brasil**. Disponível em: www.embrapa.br//. Acesso em: 19/02/2012.

FENDRICH, R. **Chuvas Intensas para Obras de Drenagem do Paraná**. Curitiba: Champagnat, 1998.

FILL, H. D. **Improving Flood Quantile Estimates Using Regional Information**. 1994. 264f. Tese (Doutorado)-Cornell University, Ithaca, 1994.

FILL, H.D. **Estimation of flood flows using regional regressions in Parana State-Brazil**. Research paper for ECON, 731, Cornell University, Ithaca, 1992.

FILL, H.D. Determinação de Cheias de Projeto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO E RECURSOS HÍDRICOS, 4, 1981, Fortaleza. 1981. **Anais...** Fortaleza: ABRH, 1981. p. 439-449.

FILLIBEN J. J. **The probability plot correlation coefficient test for normality**. Technometrics, 17(1), pp. 111-117, 1975.

FULLER, W. E. **Flood Flows**, Trans. Am. Soc. Civil Engrs., 77, pp. 564-617, 1914.

GREENE, W. H. **Econometric Analysis**, Nova York: Macmillan Publishing Company, 2002. 791 p.

GUMBEL, E. J., **Methods Graphiques pour l'Analyse des Debit de Crue**, La Houille Blanche, n. 5(nov.), pp. 709-716, 1956.

GUMBEL, E. J., **Statistical Theory of Extreme Values and some Practical Applications**. In: National Bureau of Standards' Applied Mathematics Series, n. 33, Washington: US Govt. Printing Office, 1954.

GUMBEL, E. J., **Statistics of Extremes**, New York: Columbia University Press, 1958.

HAZEN, A., **Discussion of Flood Flows by W. E. Fuller**. Trans. Am. Soc. Civil Engrs., 77 pp. 626-632, 1914.

HOSHI, K., J. R. STEDINGER and S. BURGESS, **Estimation of Log-normal Quantiles: Monte Carlo Results and First-order Approximations**, RJ. Of Hydrol., 71 pp. 1-30, 1984.

HOSKING, J.R.M. and WALLIS, J. R., **Regional Flood Frequency Analysis: An approach based on L-moments**, New York: Cambridge University Press, 1997.

HOSKING, J.R.M., **The Theory of Probability Weighted Moments**. Yorkton Heights: IBM Research Division, Research Report RC 12210, 160p., 1986.

HOSKING, J.R.M., WALLIS, J. R., WOOD, E. F., **Estimation of the Generalized Extreme Value Distribution by Method of Probability Weighted Moments**, Technometrics, v.27 n.3 p. 351-261, 1985.

JENKINSON, A. F., **The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) Values of Meteorological Elements**, J. Royal Meteorological Soc. 81, pp. 158-171, 1955.

JOHNSON, R. S. e; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992.

JOHNSTON, J. **Econometric Methods** . Nova York: McGraw Hill, 1984.

KAVISKI, E., **Métodos de Regionalização de Eventos e Parâmetros Hidrológicos**. 296f, dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

KAVISKI, E.; KRUGER, C. M.; FILL, H. D. **Projeto HG-77- Regionalização de vazões em pequenas bacias hidrográficas**. Curitiba: CEHPAR, COPEL, 1995.

KERN, R., **Método de regionalização Para Avaliar a Energia Garantida Incremental de Pequenas Centrais Hidrelétricas a Fio de Água Integradas na Região Sul do Brasil**, 240 f, dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

KITANIDIS, P. K., Geostatistics, in: **Handbook of Hydrology**, Nova York: McGraw Hill, 1993b. Cap. 20.

KITANIDIS, P. K., **Introduction to Geostatistics**, Nova York: Cambridge University Press, 1993a.

LETTENMAIER, D. P. e K. W. POTTER, **Testing Flood Frequency Estimation Methods Using a Regional Flood Generation Model**. Water Resources. Res.21(12), pp. 1903-1914, 1985.

LETTENMAIER, D. P., J. R. WALLISK. and E. F. WOOD, **Effect of Regional Heterogeneity on Flood Frequency Estimation**. Water Resources. Res. 23(2), pp. 313-323, 1987.

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. **SMAP - A Simplified Hydrological Model, Applied Modelling in Catchment Hydrology**, Littleton: Ed. V.P.Singh, Water Resources Publications, 1982.

LU, L.H. . **Statistical methods for regional flood frequency investigations**. 236p., dissertação (Ph-D), Cornell University, Ithaca, New York, 1991

MAZER, W.; KAVISKI, E.; DARU, R. L.; GROSZEWICZ, R.. **Projeto HG-171-Consistência e regionalização de Dados Hidrológicos**. Curitiba: CEHPAR, COPEL, 2002.

METROPOLIS, N., ULAM, S. **The Monte Carlo Method**. Washington :JASA, 1949. 44(247): 335-341p.

NAGHETTINI, M.C. E PINTO, E.J.A., **Hidrologia Estatística**, Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NASH, J. E. AND SUTCLIFFE, J. V. **River flow forecasting through conceptual models part I: A discussion of principles**, Journal of Hydrology, 10 (3), 282–290. 1970.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Shuttle Radar Topographic Mission**, CA: NASA, 2012. Imagem de radar. Disponível em: <http://www.nasa.gov/topics/earth/features/srtm/srtm20100211.html>. Acesso em: 11/06/2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, Comittee on Techniques for Estimating Probabilities of Extreme Floods, **Estimating Probabilities of Extreme floods, methods and recommended research**, National Academy Press, Washington, DC, 1989.

PFAFSTETTER, O., **Chuvas Intensas no Brasil**, 2. ed, Rio de Janeiro: DNOS, 1982.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S., **Hidrologia Básica**, São Paulo: Edgar Bluchev, 1976.

POTTER, K. W.; LETTENMAIER, D.P., A Comparison of Regional Flood Frequency Estimation Methods Using Resampling Method, **Water Resources Res.**, 26 (3), pp. 415-424, 1990.

SANT'ANA, R. F.; FIOR, M. T. B.; KAVISKI, E. **Projeto HG-52-Aproveitamentos Hidrelétricos de Pequeno Porte**. Curitiba: CEHPAR, COPEL, 1989.

SANTOS, P., **Análise de Frequência e Regionalização de Máximas Sazonais na Região Sul do Brasil**, 142 f, dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SHERMAN, L. K. **Streamflow from Rainfall by the Unit-Graf Method**. Nova York: Engineering News Record, 1932. v.108.

SPANOS, A., **Statistical Foundation of Econometric Analysis**. Nova York :Cambridge University Press, 1989.

STEDINGER, J. R.; BAKER, V.R. **Surface Water Hydrology: Historic and Paleoflood Information**. In: Review of Geophysics, 1987. 25(2) p.119-124.[S.I.].

STEDINGER, J. R.; COHN, T. A. **Flood Frequency Analysis With Historical and Paleoflood Information**. Washington: Water Resources Research, 1986. 22(5) pp.785-793.

STEDINGER, J. R.; TASKER, G. D. **Correction to Regional Hydrologic Analysis 1.Ordinary, Weighted and Generalized Least Squares Compared**, Water Resources Research, 22(10) p.844, 1986b.

STEDINGER, J. R.; TASKER, G. D. **Generalized Least Squares Analysis for Hydrologic Regionalization**, Invited Paper in Symposium on Regionalization in Hydrology, Hydraulic Engineering: Saving a Threatened Resource-In Search of Solutions, ASCE Water Forum 1992 Baltimore, Maryland, 1992.

STEDINGER, J. R., Frequency Analysis of Extreme Events. In: STEDINGER, J. R.; VOGEL, R. M; FOUFOULA-GEORGIU, E. **Handbook of Hydrology**. Nova York: MacGraw Hill, 1993.cap. 18.

TASKER, G. D. **Hydrologic Regression with Weighted Least Squares**, Water Resources Research, 16(6), pp. 1107-1113, 1980.

TASKER, G. D.; STEDINGER, J. R., **An Operation GLS Model for Hydrologic Regression**, J. of Hydrology,111, pp. 361-375, 1989.

THOMAS, D. M. e BENSON, M. A., **Generalization of Streamflow Characteristics from Drainage-basin Characteristics**. In: USGS Water Supply Paper 1975, Washington: US Govt. Printing Office,1970.

TUCCI, C.E.M.. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: Editora da Universidade. UFRGS, 2002.

TUCCI, C.E.M.; ORDONEZ, J.S.; SIMÕES LOPES, M. Modelo Matemático Precipitação-Vazão IPH II Alguns Resultados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 4., 1981, Fortaleza. 1981. **Anais...**Fortaleza: ABRH, 1981.

US WATER RESOURCES COUNCIL, **A Uniform Technique for Determining Flood Flow Frequencies**. Washington: US Govt. Printing Office, 1967. Bulletin 17b.

WALLIS, J. R.; WOOD, E.F., Relative Accuracy of Log Pearson III Procedures, **Journal of Hydraulic Engineering**, 111(7), pp. 1043-1056, 1985.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO), **Manual of Estimation of Probable Maximum Precipitation**, Genova: 1873.

APÊNDICE 1 – DADOS DE ENTRADA

Tabela A 1- Estações Fluviométricas

Código	Estação	Rio	Área D. (km²)	Período Disponível	Status	Estado	Latitude	Longitude
64360000	Tomazina	das Cinzas	2020	1927	Ativa	PR	-23,767	-49,950
64390000	Porto Santa Terezinha	Laranjinha	3460	1931	Ativa	PR	-23,120	-50,450
64440000	Santa Cruz	Tibaji	1340	1937	Desativada	PR	-25,200	-50,150
64460000	Bom Jardim	Capivari	744	1941	Desativada	PR	-24,700	-50,483
64475000	Castro	Iapó	1190	1930	Desativada	PR	-24,776	-50,004
64550000	Vila Silva Jardim	Ribeirão Pirapó	4490	1967	Ativa	PR	-22,854	-52,074
64620000	Rio dos patos	dos Patos	1090	1930	Ativa	PR	-59,717	-207,267
64625000	Tereza Cristina	Ivaí	3560	1956	Ativa	PR	-25,383	-74,700
64775000	Balsa do cantu	Cantu	2520	1967	Ativa	PR	-24,749	-52,703
64785000	Ponte do Goio-Bang	Tricolor	1340	1967	Ativa	PR	-24,617	-52,933
64790000	Salto Sapucaí	Sapucaí	692	1966	Ativa	PR	-24,633	-53,100
64810000	Balsa do Goio-Ere	Goio-Ere	2040	1963	Ativa	PR	-23,917	-53,127
65010000	Fazendinha	Pequeno	116	1955	Ativa	PR	-25,518	-49,141
65035000	Porto Amazonas	Iguaçu	3662	1935	Ativa	PR	-25,542	-49,887
65085000	Bateias de Baixo	Negro	391	1941	Desativada	PR	-26,075	-49,268
65090000	Fragosos	Negro	800	1967	Ativa	PR	-26,153	-49,375
65095000	Rio Preto do sul	Negro	2610	1951	Ativa	PR	-27,923	-149,550
65100000	Rio Negro	Negro	3379	1930	Ativa	PR	-26,106	-49,801
65135000	Rio da Várzea dos Lima	da Várzea	605	1939	Ativa	PR	-25,934	-49,389
65155000	São Bento	da Várzea	2012	1930	Ativa	PR	-25,941	-49,788
65180000	Salto Canoíhas	Canoíhas	772	1951	Ativa	PR	-88,083	-97,183
65365000	Porto Vitória (rio espingarda)	Espingarda	65	1945	Ativa	PR	-26,177	-51,520

Continua

Tabela A 2- Estações Fluviométricas

Tabela A 2- Estações Fluviométricas									Continuação
Código	Estação	Rio	Área D. (km²)	Período Disponível	Status	Estado	Latitude	Longitude	
65370000	Jangada do Sul	Jangada	1055	1945	Ativa	PR	-26,386	-51,270	
65415000	Fazenda Maracanã	Palmital	323	1945	Ativa	PR	-26,025	-51,138	
65810000	Guarapuava	Jordão	726	1936	Desativada	PR	-25,437	-51,453	
65825000	Santa Clara	Jordão	3930	1949	Desativada	PR	-25,638	-51,967	
65890000	Campo Novo	Campo Novo	146	1940	Desativada	PR	-25,467	-52,900	
65925000	Salto Claudelino	Chopim	1660	1965	Ativa	PR	-26,278	-52,296	
65927000	Porto Palmerinha	Chopim	3410	1955	Ativa	PR	-26,025	-52,624	
65945000	Ponte do Vitorino	Vitorino	554	1956	Ativa	PR	-26,051	-52,801	
65955000	Balsa do Santana	Santana	1720	1956	Desativada	PR	-25,909	-52,843	
71498000	Passo Marombas	das Marombas	3680	1940	Ativa	SC	-27,450	-50,752	
72430000	Passo do Granzotto	Inhanduva	1620	1957	Ativa	RS	-27,874	-51,753	
72530000	Passo do Ligeiro		460	1957	Desativada	RS	-28,050	-51,909	
72580000	Ponte do Rio Tapejara	Tapejara	1080	1957	Desativada	RS	-27,923	-52,088	
73300000	Bonito	Irani	654	1951	Ativa	SC	-26,943	-52,176	
73480000	Ponte do Rio Passo Fundo	Passo Fundo	3710	1969	Desativada	RS	-27,385	-52,719	
74270000	Passo Rio da Várzea	da Várzea	5340	1940	Ativa	RS	-27,274	-53,319	
74320000	Ponte do Sargento	Sargento	609	1965	Ativa	RS	-26,676	-53,285	
74460000	Ponte do rio turvo	Turvo	502	1976	Ativa	RS	-27,822	-53,728	
74880000	Passo São João	Comandai	817	1941	Ativa	RS	-28,063	-54,756	
75155000	Passo faxinal	Ijuí	1940	1941	Ativa	RS	-28,287	-53,764	
75185000	Ponte Nova do Potiribu	Potiribu	609	1963	Desativada	RS	-28,373	-53,872	
75295000	Colônia Mousquer	Ijuizinho	2160	1974	Ativa	RS	-28,390	-54,331	
75600000	Passo das Turma	Icamaquã	378	1976	Ativa	RS	-28,837	-54,855	
76085000	Cachoeira 5 Veados	Toropi	1540	1976	Ativa	RS	-29,429	-54,054	
76100000	Vila Clara	Toropi	2790	1941	Ativa	RS	-29,556	-54,342	
									Continua

Continua

Tabela A 3- Estações Fluviométricas

Continuação

Código	Estação	Rio	Área D. (km²)	Período Disponível	Status	Estado	Latitude	Longitude
81019350	Ponte do açungui	Açungui	140	1952	Desativada	PR	-25,235	-49,590
81102000	Balsa do Jacaré	Açungui	1700	1978	Ativa	PR	-24,925	-49,477
81125000	Turvo	Turvo	392	1930	Ativa	PR	-24,750	-49,327
81135000	Balsa do Cerro azul	Ribeira do Iguape	4570	1930	Desativada	PR	-24,791	-49,267
81140000	Cerro azul	Ponta Grossa	435	1930	Ativa	PR	-24,823	-49,258
81300000	Praia Grande	Capivari	920	1930	Desativada	PR	-25,167	-48,877
82160000	Veu de noiva	Ipiranga	54	1931	Ativa	PR	-25,424	-48,940
82261001	Primeiro Salto do Cubatão	Cubatão	125	1952	Desativada	SC	-26,189	-49,104
82320000	Corupá	Novo	182	1945	Ativa	SC	-26,421	-49,289
83050000	Taió	Itajaí do Oeste	1570	1929	Ativa	SC	-27,108	-49,990
83300002	Rio do sul	Itajaí do Oeste	5160	1941	Desativada	SC	-27,217	-49,617
83345000	Barra do prata	Hercílio	1430	1977	Ativa	SC	-26,692	-49,825
83660000	Benedito Novo	Benedito	891	1934	Ativa	SC	-26,786	-49,359
83680000	Timbó	Benedito	1600	1934	Desativada	SC	-26,825	-49,270
83880000	Luiz Alves	Luiz Alves	104	1929	Ativa	SC	-26,720	-48,926
83900000	Brusque	Itajaí-Mirim	1210	1929	Ativa	SC	-27,100	-48,917
84071000	Major Gercino	Tijucas	1010	1944	Ativa	SC	-27,409	-48,952
84095000	Nova Trento	Alto Braço	636	1944	Ativa	SC	-27,285	-48,933
84100000	Poço Fundo	Cubatão	425	1950	Ativa	SC	-27,702	-48,801
84580000	Rio do pouso	Tubarão	2740	1939	Ativa	SC	-28,418	-49,104
84600000	Armazem Capivari	Capivari	840	1942	Ativa	SC	-28,257	-49,007
84820000	Forquilha	Mãe Luzia	526	1942	Ativa	SC	-28,750	-49,471
84950000	Taquaruçu	Itoupava	970	1943	Ativa	SC	-28,955	-49,601
85080000	Espumoso	Jacuí	2990	1942	Ativa	RS	-28,719	-52,837
86100000	Passo do Gabriel	das Antas	1820	1940	Ativa	RS	-28,803	-50,490

Continua

Tabela A 4- Estações Fluviométricas

							Continuação	
Código	Estação	Rio	Área D. (km²)	Período Disponível	Status	Estado	Latitude	Longitude
76440000	Jaguari	Jaguari	2320	1941	2006	Ativa	RS	-29,499 -54,689
76650000	Passo da Cachoeira	Itu	2560	1962	2006	Ativa	RS	-28,063 -54,756
86160000	Passo Tainhas	Tainhas	1120	1940	2012	Ativa	RS	-28,868 -50,454
86410000	Barra do Guai	Turvo	2820	1956	2012	Ativa	RS	-28,737 -51,422
86420000	Ponte do Prata	Prata	317	1959	2012	Ativa	RS	-28,673 -51,605
86480000	Passo Migliavaca	Carreiro	1330	1956	2012	Ativa	RS	-28,618 -51,854
86560000	Linha Colombo	Guaporé	2030	1939	2012	Ativa	RS	-28,907 -51,952
86580000	Santa Lúcia	Guaporé	2470	1940	2012	Ativa	RS	-29,119 -51,907
86700000	Ponte Jacaré	Arroio Jacaré	436	1943	2012	Ativa	RS	-29,187 -51,920
87160000	Nova Palmira	Caí	2030	1943	2012	Ativa	RS	-29,335 -51,186
87380000	Campo Bom	dos Sinos	2900	1939	2012	Ativa	RS	-29,689 -51,040
88750000	Passo dos Carros	Arroio Fragata	131	1964	2012	Ativa	RS	-31,708 -52,473
88850000	Ponte Cordeiro de Farias	Arroio Pelotas	386	1964	2012	Ativa	RS	-31,571 -52,458

Tabela A 5 -Postos Pluviométricos

Código	Estação Pluviométrica	Sub-Bacia	Chuva Média	Latitude	Longitude
02251018	Iepe	64	83,9	-22.670	-51.083
02251027	Bela Vista Do Paraíso	64	88,0	-22.950	-51.200
02251033	Alto Alegre	64	85,0	-22.892	-51.886
02251038	Alvorada Do Sul	64	80,8	-22.760	-51.227
02252015	Diamante Do Norte	64	84,1	-22.653	-52.856
02349014	Fartura	64	84,4	-23.383	-49.517
02349054	Medonho	64	77,6	-23.650	-49.130
02350000	Jataizinho	64	79,1	-23.252	-50.984
02350001	Porto Santa Terezinha	64	83,2	-23.124	-50.456
02350037	Terra Nova	64	94,7	-23.775	-50.809
02350041	Amorinha	64	84,2	-23.916	-50.250
02351045	Guaiapo	64	82,6	-23.400	-51.871
02352000	Porto Paraíso Do Norte	64	84,1	-23.321	-52.667
02353002	Balsa Do Goio-Ere	64	98,1	-23.917	-53.127
02353044	Novo Porto Taquara	64	84,5	-23.186	-53.201
02450002	Tibaji	64	78,7	-24.507	-50.400
02450056	Engenheiro Rosaldo Leitão	64	76,7	-24.950	-50.383
02451002	Ubá Do Sul	64	90,4	-24.050	-51.617
02451003	Tereza Cristina	64	84,5	-24.830	-51.150
02451017	Porto Espanhol	64	85,9	-24.350	-51.417
02452000	Balsa Do Cantu	64	105,8	-24.743	-52.700
02452001	Ponte Do Goio-Bang	64	93,1	-24.617	-52.933
02452055	Porto Guarani	64	110,3	-24.850	-52.750
02453000	Balsa Santa Maria	64	96,3	-24.167	-53.733
02453001	Ponte Do Piquiri	64	90,7	-24.517	-53.167
Continua					

Tabela A 6 -Postos Pluviométricos						Continuação
Código	Estação Pluviométrica	Sub-Bacia	Chuva Média	Latitude	Longitude	
02453026	Ouro Verde Do Oeste	64	112,7	-24.772	-53.901	
02453043	Novo Porto 2	64	93,2	-24.400	-53.150	
02549000	São Bento	65	78,9	-25.933	-49.783	
02549001	Porto Amazonas	65	77,9	-25.550	-49.880	
02549061	Quitandinha	65	75,5	-25.859	-49.508	
02550000	Rio Dos Patos	64	82,1	-25.200	-50.933	
02550001	São Mateus Do Sul	65	78,3	-25.872	-50.387	
02550016	Uvaia	64	78,4	-25.067	-50.383	
02551004	Santa Clara	65	92,3	-25.636	-51.959	
02551020	Faxinal Dos Ribeiros	65	99,9	-25.800	-51.517	
02552001	Águas Do Verê-396	65	101,3	-25.771	-52.926	
02552033	São Luiz Do Oeste	65	106,9	-25.723	-52.502	
02553056	Porto Santo Antônio-396	65	98,7	-25.391	-53.103	
02554002	Salto Cataratas	65	102,2	-25.677	-54.426	
02648019	Piçarras	83	95,8	-26.753	-48.693	
02649005	Indaial	83	75,7	-26.908	-49.267	
02649006	Rio Negro	65	68,1	-26.100	-49.800	
02650016	Buriti (Timbó Grande)	65	87,1	-26.554	-50.601	
02650022	Iracema	83	88,7	-26.455	-49.985	
02651000	União Da Vitória-396	65	81,5	-26.274	-51.748	
02651002	Caçador	72	72,0	-26.767	-51.000	
02651003	Jangada Do Sul-396	65	85,8	-26.385	-51.270	
02651040	Ponte Serrada	73	91,7	-26.919	-51.924	
02652000	Abelardo Luz	73	89,6	-26.554	-52.318	
02652015	Salto Claudelino	65	108,7	-26.274	-52.291	
						Continua

Tabela A 7 -Postos Pluviométricos					Continuação	
Código	Estação Pluviométrica	Sub-Bacia	Chuva Média	Latitude	Longitude	
02652034	Porto Fae	73	304,3	-26.818	-52.735	
02652034	Porto Fae Novo	73	304,3	-26.818	-52.735	
02653016	São Sebastião Da Bela Vista	65	112,9	-26.059	-53.357	
02748000	Brusque	83	81,9	-27.100	-48.917	
02749001	Ibirama	83	71,6	-27.052	-49.517	
02749008	Rio Do Sul	83	63,5	-27.217	-49.617	
02749009	Rio Bonito	71	78,9	-27.702	-49.842	
02749020	Rancho Queimado	83	110,5	-27.670	-49.004	
02749039	Rio Do Sul-Novo	83	74,9	-27.203	-49.626	
02750008	Passo Caru	71	83,2	-27.538	-50.854	
02750009	Passo Marombas	71	77,1	-27.334	-50.752	
02750010	Ponte Alta Do Norte	71	73,7	-27.157	-50.468	
02750011	Ponte Alta Do Sul	71	81,1	-27.476	-50.384	
02751004	Joaçaba	72	85,3	-27.170	-51.500	
02751005	Marcelino Ramos	73	95,4	-27.450	-51.917	
02751006	Paim Filho	72	90,5	-27.708	-51.736	
02751007	Sananduva	72	98,1	-27.976	-51.784	
02751010	Uruguai	72	98,0	-27.450	-51.867	
02751017	Clemente Argolo	72	100,9	-28.004	-51.453	
02752004	Chapecó-Agropecuária	73	90,5	-27.100	-52.650	
02752007	Erechim	72	95,0	-27.633	-52.267	
02752014	Charrua	72	93,5	-27.950	-52.000	
02753003	Iraí	74	101,5	-27.187	-53.252	
02753007	Santo Augusto	74	98,5	-27.850	-53.767	
					Continua	

Tabela A 8 -Postos Pluviométricos						Continuação
Código	Estação Pluviométrica	Sub-Bacia	Chuva Média	Latitude	Longitude	
02753014	Liberato Salzano	74	105,3	-27.593	-53.070	
02753016	Miraguai	74	121,2	-27.501	-53.689	
02754004	Usina Santa Rosa	75	104,1	-27.769	-54.387	
02848001	Laguna	84	77,7	-28.483	-48.800	
02849003	São Joaquim	70	77,3	-28.283	-49.933	
02849006	Forquilha	84	82,4	-28.750	-49.471	
02850004	Coxilha Rica	70	89,8	-28.151	-50.438	
02850006	Invernada Velha	70	83,7	-28.443	-50.291	
02850008	Passo Socorro	70	94,8	-28.207	-50.755	
02851024	Prata	86	89,6	-28.754	-51.624	
02852020	Passo Fundo	73	88,2	-28.222	-52.402	
02852046	Tapejara	72	99,3	-28.055	-51.991	
02853003	Conceição	75	101,1	-28.454	-53.970	
02853008	Passo Do Lagoão	85	95,9	-28.733	-53.150	
02853010	Passo Faxinal	75	101,7	-28.287	-53.774	
02854005	Passo Major Zeferino	75	99,1	-28.734	-54.642	
02854007	Santo Angelo	75	95,4	-28.300	-54.267	
02854012	Coimbra	75	104,0	-28.786	-54.452	
02854015	Ponte Mística	75	116,9	-28.176	-54.736	
02855002	Passo Do Sarmento	75	110,5	-28.205	-55.321	
02856003	São Borja	75	86,9	-28.650	-56.000	
02950007	Cambará Do Sul	86	78,1	-29.050	-50.150	
02950037	Taquara	87	80,6	-29.667	-50.783	
02951022	Nova Palmira	87	85,9	-29.334	-51.188	
02951070	Muçum	86	95,9	-29.160	-51.867	
Continuação						

Tabela A 9 -Postos Pluviométricos						Continuação
Código	Estação Pluviométrica	Sub-Bacia	Chuva Média	Latitude	Longitude	
02952001	Barros Cassal	86	101,3	-29.085	-52.868	
02952010	Rio Pardo	85	89,7	-29.983	-52.350	
02953008	Dona Francisca	85	101,8	-29.621	-53.352	
02953017	Santa Maria	85	113,7	-29.721	-53.719	
02954004	Ernesto Alves	76	108,8	-29.360	-54.735	
02954007	Jaguari	76	113,0	-29.504	-54.673	
02954019	Quevedos	76	99,3	-29.351	-54.668	
02955001	Alegrete	76	108,2	-29.780	-55.767	
02955008	Manoel Viana	76	101,5	-29.590	-55.485	
02956006	Passo Mariano Pinto	76	114,4	-29.305	-56.053	
02956008	João Arregui	76	117,4	-29.169	-56.667	
03051023	Barra Do Ribeiro	87	77,5	-30.292	-51.309	
03053005	Formigueiro	85	90,8	-30.000	-53.500	
03053017	Passo Dos Freires	85	97,7	-30.435	-53.708	
03054007	Rosário Do Sul	76	113,0	-30.242	-54.917	
03055005	Santa Rita	76	105,5	-30.510	-55.123	
03056007	Caty	76	106,9	-30.522	-56.170	
03057002	Barra Do Quaraí	76	97,4	-30.208	-57.552	
03353006	Santa Amélia	88	75,7	-33.522	-53.121	
03151004	Tavares	88	74,7	-31.287	-51.097	
03152011	Passo Do Mendonça	87	88,3	-31.000	-52.043	
03153017	Torinhas	87	105,8	-31.309	-53.493	
03155001	Três Vendas	76	100,6	-31.272	-55.036	
03252003	Estância Do Curtume	88	78,1	-32.433	-52.600	

Tabela A 10 –Variáveis de Entrada

Cod	Área	Declividade	Coef.Forma	S	Chuva	λ_1	λ_2	W
64360000	2014	6.51	0.13	94.74	72.83	282.55	95.65	73
64390000	3468	3.35	0.06	83.86	75.18	461.99	138.59	60
64440000	1345	7.50	0.31	81.28	75.76	125.03	32.93	26
64460000	742	6.66	0.14	119.60	67.99	98.63	28.82	53
64475000	1152	11.37	0.29	86.94	74.50	124.70	46.69	24
64550000	4493	3.39	0.16	110.50	69.69	355.13	81.11	43
64620000	1087	1.85	0.30	67.07	79.11	201.63	46.65	74
64625000	3567	1.43	0.12	66.56	79.24	1003.41	213.68	46
64775000	2522	7.47	0.06	81.08	75.80	880.18	177.46	38
64785000	1342	3.84	0.07	56.86	81.71	106.57	19.97	36
64790000	706	5.52	0.07	61.99	80.38	95.33	30.57	36
64810000	2043	4.03	0.16	79.75	76.10	158.13	26.57	41
65010000	109.9	5.67	0.03	74.98	77.21	11.37	1.14	48
65035000	3642	6.25	0.17	86.47	74.60	326.03	94.09	70
65085000	378	28.46	0.16	115.91	68.67	56.83	11.44	24
65090000	772	24.17	0.19	121.92	67.57	83.03	14.86	37
65095000	2508	1.80	0.10	105.90	70.57	259.71	51.62	50
65100000	3292	0.88	0.12	105.28	70.70	321.97	68.01	74
65135000	600	2.09	0.19	111.25	69.54	51.76	9.33	61
65155000	1904	2.73	0.05	100.50	71.65	133.75	36.70	74
65180000	771	11.28	0.16	112.66	69.27	102.21	26.63	29
65365000	67.6	22.29	0.22	111.77	69.44	47.01	11.55	57
65370000	1050	2.92	0.17	104.74	70.80	244.01	55.74	59
65415000	326.0	5.44	0.21	88.35	74.19	82.84	22.70	59
65810000	728	7.29	0.24	91.63	73.49	136.95	30.38	30
65825000	3922	3.84	0.11	78.33	76.43	748.78	209.77	56
65890000	152.1	7.78	0.14	72.47	77.80	74.03	35.33	27
65925000	1659	7.58	0.06	69.36	78.55	474.26	117.04	39
65927000	3338	5.84	0.04	63.62	79.97	691.18	161.87	32
65945000	550	7.32	0.09	56.61	81.77	150.89	49.52	49
65955000	1731	3.91	0.10	59.90	80.92	502.75	104.22	45
71498000	3805.1	4.41	0.04	58.14	81.37	648.69	187.03	64
72430000	1622	3.66	0.16	59.73	80.96	374.77	70.77	48
72530000	451.72	11.56	0.46	56.24	81.87	205.17	61.83	42
72580000	1119	5.26	0.22	52.59	82.85	402.10	102.88	32
73300000	649.65	7.57	0.08	96.15	72.54	226.55	62.68	52
73480000	3712	3.24	0.10	53.31	82.65	740.29	237.52	33
74270000	5345	1.92	0.04	56.66	81.76	2376.79	1547.30	64
74320000	608	8.23	0.10	59.88	80.92	484.86	142.68	39
74460000	510	3.31	0.14	54.13	82.43	58.14	11.83	31
74880000	849	3.00	0.08	55.69	82.02	212.52	44.01	62
75155000	1935	3.48	0.15	53.34	82.64	425.18	114.35	60
75185000	609.7	3.72	0.13	99.18	71.92	127.16	29.54	31

Continua

Tabela A 11 - Variáveis de Entrada

Continuação

Cod	Área	Declividade	Coef.Forma	S	Chuva	λ_1	λ_2	W
75295000	2101.7	6.00	0.11	99.67	71.82	653.38	138.71	30
75600000	378	6.21	0.23	63.84	79.91	603.51	139.95	29
76085000	1540	4.38	0.19	62.87	80.16	853.83	178.23	28
76100000	2796	3.14	0.14	67.79	78.93	837.78	171.48	62
76440000	2293	2.61	0.08	67.38	79.03	1050.20	274.32	59
76650000	2567	3.33	0.14	89.68	73.91	630.94	192.09	41
81019350	137.06	41.61	1.07	133.29	65.58	98.78	36.00	20
81102000	1710	7.83	0.14	133.17	65.60	257.72	80.41	27
81125000	458	18.00	0.16	101.16	71.52	41.80	9.91	60
81135000	4589	6.73	0.13	104.35	70.88	619.08	213.23	74
81140000	461	17.85	0.16	136.58	65.03	59.67	22.09	63
81300000	946	6.81	0.13	115.15	68.81	95.96	16.17	31
82160000	54.6	56.50	0.22	135.57	65.20	63.45	34.32	30
82261001	126	30.16	0.09	68.34	78.80	38.91	8.15	52
82320000	188	52.38	0.21	88.68	74.12	93.97	25.94	57
83050000	1570	14.08	0.23	86.63	74.57	363.21	66.11	71
83300002	5143	8.07	0.11	101.09	71.53	783.50	165.16	35
83345000	1428.75	8.77	0.12	87.84	74.30	521.02	128.77	25
83660000	893.2	28.66	0.13	129.73	66.19	217.72	52.31	68
83680000	1628	18.04	0.15	121.67	67.61	415.42	91.08	53
83880000	103	32.22	0.24	55.43	82.09	53.33	8.53	59
83900000	1252	9.98	0.08	99.62	71.83	293.32	75.21	66
84071000	1038	14.28	0.12	83.53	75.25	243.67	60.65	60
84095000	643.63	14.32	0.28	79.65	76.13	93.44	15.77	56
84100000	405	10.25	0.02	135.01	65.29	201.78	49.15	43
84580000	2838.64	4.86	0.09	121.11	67.71	615.82	149.64	61
84600000	879.48	19.59	0.30	105.22	70.71	123.85	32.54	52
84820000	552.83	17.44	0.49	95.62	72.65	407.73	112.47	50
84950000	929.26	21.68	0.24	95.12	72.75	561.77	99.93	60
85080000	2956	5.33	0.16	93.70	73.05	641.46	195.11	28
86100000	1821	10.50	0.12	60.89	80.66	808.95	240.31	65
86160000	1115	11.38	0.11	64.95	79.64	479.51	128.89	65
86410000	2819	4.55	0.14	60.28	80.82	1063.81	322.36	50
86420000	317	5.75	0.13	74.34	77.36	106.62	26.78	47
86480000	1331	5.82	0.19	93.85	73.02	560.52	127.43	46
86560000	2031	4.08	0.08	93.40	73.11	812.41	210.91	63
86580000	2469	4.10	0.06	55.18	82.15	1057.46	295.91	56
86700000	437	13.41	0.15	63.61	79.97	304.80	93.37	61
87160000	2023	6.74	0.09	69.59	78.49	686.29	165.10	53
87380000	2813	8.18	0.19	88.36	74.19	382.55	81.63	58
88750000	131	14.18	0.24	107.27	70.31	71.47	17.33	41
88850000	368	10.95	0.20	93.49	73.10	305.33	71.81	42

Tabela A 12- $\lambda_{regional}/\lambda_{local}$

Cod	$\frac{\lambda_{1_{Regional}}}{\lambda_{1_{Local}}}$	$\frac{\lambda_{2_{Regional}}}{\lambda_{2_{Local}}}$		Cod	$\frac{\lambda_{1_{Regional}}}{\lambda_{1_{Local}}}$	$\frac{\lambda_{2_{Regional}}}{\lambda_{2_{Local}}}$
64360000	0.76	0.54		75295000	0.80	0.90
64390000	0.69	0.51		75600000	0.31	0.34
64440000	1.48	1.39		76085000	0.62	0.75
64460000	0.82	0.72		76100000	0.92	1.09
64475000	1.31	0.88		76440000	0.61	0.54
64550000	0.91	0.99		76650000	0.99	0.76
64620000	0.74	0.78		81019350	0.61	0.55
64625000	0.34	0.38		81102000	1.22	1.11
64775000	0.32	0.36		81125000	4.12	4.34
64785000	1.73	2.31		81135000	1.38	1.00
64790000	1.21	0.90		81140000	2.07	1.66
64810000	1.48	2.08		81300000	2.46	3.68
65010000	2.26	4.65		82160000	0.45	0.25
65035000	1.58	1.33		82261001	2.19	2.55
65085000	1.47	1.97		82320000	1.17	1.08
65090000	1.61	2.55		83050000	1.34	1.86
65095000	1.10	1.28		83300002	1.24	1.46
65100000	1.02	1.11		83345000	0.80	0.77
65135000	1.85	2.48		83660000	1.04	1.26
65155000	1.85	1.50		83680000	0.89	1.13
65180000	1.32	1.31		83880000	1.51	2.70
65365000	0.50	0.52		83900000	1.17	1.08
65370000	0.66	0.69		84071000	1.46	1.41
65415000	0.99	0.85		84095000	2.83	4.22
65810000	1.10	1.22		84100000	0.49	0.52
65825000	0.72	0.61		84580000	0.79	0.84
65890000	0.71	0.35		84600000	2.27	2.31
65925000	0.66	0.63		84820000	0.53	0.51
65927000	0.75	0.77		84950000	0.57	0.82
65945000	0.96	0.76		85080000	1.04	0.82
65955000	0.64	0.77		86100000	0.74	0.66
71498000	1.54	1.33		86160000	0.86	0.81
72430000	1.44	1.97		86410000	0.73	0.62
72530000	1.18	1.15		86420000	1.33	1.23
72580000	1.08	1.21		86480000	0.66	0.70
73300000	0.99	0.82		86560000	0.58	0.51
73480000	1.34	1.14		86580000	0.64	0.59
74270000	0.50	0.19		86700000	0.69	0.57
74320000	0.57	0.49		87160000	0.86	0.86
74460000	3.87	5.04		87380000	1.84	2.12
74880000	1.50	1.83		88750000	0.88	0.91
75155000	1.46	1.49		88850000	0.49	0.51
75185000	1.55	1.54				

APÊNDICE 2 – ALGORITMOS DESENVOLVIDOS

PROGA

Abaixo o algoritmo PROGA:

```
% carrega o arquivo com o nome dos arquivos gerados
fid_dados=fopen('dados.txt');
Mdados=textscan(fid_dados,'%s %s %s %s %s');
fclose(fid_dados);

% Cria vetores dos nomes para cada tipo de saída a partir das células de
nomes
    CHf=Mdados{1,1};
    UTf=Mdados{1,2};
    TSf=Mdados{1,3};
    Lf=Mdados {1,4};
    Hf=Mdados {1,5};

% carrega matrizes dos coeficientes de uso da terra e tipo de solo
C1=dlmread('C1.txt','');
C2=dlmread('C2.txt','');

% Inicia o looping para cada posto (variando até N postos)
[N,m]=size(Hf);
for X=1:N

% carrega os nomes dos arquivos para o posto X
    CHv= CHf{X,1};
    UTv= UTf{X,1};
    TSv=TSf{X,1};
    Lv= Lf {X,1};
    Hv= Hf {X,1};

% lê os dados dos arquivos e transforma em matrizes
    CH=importdata(CHv);
    UT=importdata(UTv);
    TS=importdata(TSv);
    L=importdata(Lv);
    H=importdata(Hv);

% cálculos para obtenção dos coeficientes
    A=sum(UT','double');
    Co=(UT*C1)/A;
    CN=(Co+TS)*C2/A;
    S=((1000/CN)-10)*25.4
    P=mean(mean(CH));
    DelH= max(max(H))-min(min(H));
    Comp=max(max(L));
    Decl=DelH/Comp;
    CF=A/Comp*Comp;

% carrega os valores para a matriz de variáveis explicativas
    VAR(X,1)=1;
    VAR(X,2)=log(A);
    VAR(X,3)=log(S);
    VAR(X,4)=log(Decl);
```

```

    VAR(X,5)=log(CF);
    VAR(X,6)=log(P);
end;

% cria o arquivo de variáveis explicativas
xlswrite('Entrada.xlsx', VAR,'Todos', 'D2:L86')

```

Modelo de Regressão

Abaixo o algoritmo do modelo de regressão:

```

%lê os dados de entrada
w = xlsread('Entrada.xlsx','Todos', 'A2:A86');
X = xlsread('Entrada.xlsx','Todos', 'D2:L86');
y1 = xlsread('Entrada.xlsx','Todos', 'B2:B86');

%Função para resolver WLS
[bw,sew_b,mse] = lscov(X,y1,w);

%Resultados

y1=X*bw;
e=y1-y1;
Lo1=exp(y1);
Le1=exp(y1);
Lambda=diag(w);
sigq=inv((y1'*Lambda*y1)*(bw'*X'*(Lambda)*y1))/(m-k);

xlswrite('saida.xlsx', y1,'resL1', 'C2:C86')
xlswrite('saida.xlsx', bw, 'resL1','D2:B10')
xlswrite('saida.xlsx', sigq, 'resL1','E2:E2')
xlswrite('saida.xlsx', Lo1, 'resL1','A2:A86')
xlswrite('saida.xlsx', Le1, 'resL1','B2:B86')

%Cálculo dos coeficientes

med=mean(y1);
sz=size(y1);
yaux=ones(sz);
ymed=med*yaux;

sqt=(y1-ymed) *(y1-ymed);
sqr=(y1-y1) *(y1-y1);
pt1=(y1-ymed) *(y1-y1);
pt2=(y1-ymed) *(y1-ymed);

%R²
Rq1=1-sqr/sqt;
%RMSE
RMSE=sqrt(mse);
%Nash-Sutcliffe
Na1=1-(sqr/pt2);

xlswrite('saida.xlsx', RMSE,'CoefL1', 'A2:A2')
xlswrite('saida.xlsx', Rq1, 'CoefL1','B2:B2')
xlswrite('saida.xlsx', sigq, 'CoefL1','C2:C2')

```

```
xlswrite('saida.xlsx', Na1, 'CoefL1', 'D2:D2')
```

```
%Teste F
```

```
[m,k] = size(X);
```

```
R=[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0; 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0; 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0; 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0; 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0; 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0; 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0; 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1];
r=[0;0;0;0;0;0;0;0;0];
q=8;
```

```
F=((r-R*bw)'*(R*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*R'))*((r-R*bw)/q)/sigq;
```

```
%Teste F Area
```

```
[m,k] = size(X);
```

```
RA=[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0];
rA=0;
qA=1;
```

```
FA=((rA-RA*bw)'*(RA*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RA'))*((rA-RA*bw)/qA)/sigq;
```

```
%Teste F Declividade
```

```
[m,k] = size(X);
```

```
RD=[0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0];
rD=0;
qD=1;
```

```
FD=((rD-RD*bw)'*(RD*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RD'))*((rD-RD*bw)/qD)/sigq;
```

```
%Teste F Coef. Forma
```

```
[m,k] = size(X);
```

```
RCF=[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0];
rCF=0;
qCF=1;
```

```
FCF=((rCF-RCF*bw)'*(RCF*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RCF'))*((rCF-RCF*bw)/qCF)/sigq;
```

```
%Teste F Escoamento
```

```
[m,k] = size(X);
```

```
RS=[0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0];
rS=0;
qS=1;
```

```
FS=((rS-RS*bw)'*(RS*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RS'))*((rS-RS*bw)/qS)/sigq;
```

```
%Teste F Chuva
```

```
[m,k] = size(X);
```

```
RP=[0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0];
rP=0;
qP=1;
```

$$FP = ((rP - RP * bw)' * ((RP * (inv(X' * inv(Lambda) * X)) * RP')) * ((rP - RP * bw) / qP)) / sigq;$$

```
%Teste F D1 D2 e D3
```

```
[m, k] = size(X);
```

```
RD1=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0];
```

```
RD2=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0];
```

```
RD3=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1];
```

```
FD1=( (rP-RD1*bw) '*( (RD1*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RD1'))*( (rP-
RD1*bw)/qP))/sigq;
```

$$FD2 = ((rP - RD2 * bw)' * ((RD2 * (inv(X' * inv(Lambda) * X)) * RD2')) * ((rP - RD2 * bw) / qP)) / sigq;$$
$$FD3 = ((rP - RD3 * bw)' * (RD3 * (inv(X' * inv(Lambda) * X)) * RD3')) * ((rP - RD3 * bw) / qP)) / sigq;$$

```
xlswrite('saida.xlsx', F, 'F1', 'A2:A1')
xlswrite('saida.xlsx', FA, 'F1', 'A2:A2')
xlswrite('saida.xlsx', FD, 'F1', 'A3:A3')
xlswrite('saida.xlsx', FCF, 'F1', 'A4:A4')
xlswrite('saida.xlsx', FS, 'F1', 'A5:A5')
xlswrite('saida.xlsx', FP, 'F1', 'A6:A6')
xlswrite('saida.xlsx', FD1, 'F1', 'A7:A7')
xlswrite('saida.xlsx', FD2, 'F1', 'A8:A8')
xlswrite('saida.xlsx', FD3, 'F1', 'A9:A9')
```


Cálculo p/ L2 _____

```
% lê os dados de entrada
```

```
X = xlsread('Entrada.xlsx','Todos', 'D2:L86');  
y1 = xlsread('Entrada.xlsx','Todos', 'C2:C86');
```

```
%Função para resolver WLS
[bw,sew b,mse] = lscov(X,y1,w);
```

%Resultados

```
yel=X*bw;
e=y1-yel;
Lo2=exp(y1);
Le2=exp(yel);
Lambda=diag(w);
sigq=inv((y1'*Lambda*y1)*(bw'*X'*(Lambda)*y1))/(m-k);
```

```
xlswrite('saida.xlsx', ye1, 'resL2', 'C2:C86')
xlswrite('saida.xlsx', bw, 'resL2', 'D2:B10')
xlswrite('saida.xlsx', sigq, 'resL2', 'E2:E2')
xlswrite('saida.xlsx', Lo2, 'resL2', 'A2:A86')
xlswrite('saida.xlsx', Le2, 'resL2', 'B2:B86')
```

```
%Cálculo dos coeficientes
```

```
med=mean (y1) ;
```

```

sz=size(y1);
yaux=ones(sz);
ymed=med*yaux;

sqt=(y1-ymed)'*(y1-ymed);
sqr=(y1-yel)'*(y1-yel);
pt1=(y1-ymed)'*(y1-yel);
pt2=(y1-ymed)'*(y1-ymed);

%R²
Rq1=1-sqr/sqt;
%RMSE
RMSE=sqrt(mse);
%Nash-Sutcliffe
Na1=1-(sqr/pt2);

xlswrite('saida.xlsx', RMSE, 'CoefL2', 'A2:A2')
xlswrite('saida.xlsx', Rq1, 'CoefL2', 'B2:B2')
xlswrite('saida.xlsx', sigq, 'CoefL2', 'C2:C2')
xlswrite('saida.xlsx', Na1, 'CoefL2', 'D2:D2')

%Teste F
[m,k] = size(X);

R=[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0; 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0; 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0; 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0; 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0; 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0; 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0; 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1];
r=[0;0;0;0;0;0;0;0;0];
q=8;

F=((r-R*bw)'*(R*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*R'))*((r-R*bw)/q)/sigq;

%Teste F Area
[m,k] = size(X);

RA=[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0];
rA=0;
qA=1;

FA=((rA-RA*bw)'*(RA*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RA'))*((rA-RA*bw)/qA)/sigq;

%Teste F Declividade
[m,k] = size(X);

RD=[0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0];
rD=0;
qD=1;

FD=((rD-RD*bw)'*(RD*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RD'))*((rD-RD*bw)/qD)/sigq;

%Teste F Coef. Forma

RCF=[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0];
rCF=0;
qCF=1;

```



```

FCF=((rCF-RCF*bw) '* ((RCF*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RCF'))*((rCF-RCF*bw)/qCF))/sigq;

%Teste F Escoamento

RS=[0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0];
rS=0;
qS=1;

FS=((rS-RS*bw) '* ((RS*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RS'))*((rS-RS*bw)/qS))/sigq;

%Teste F Chuva

RP=[0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0];
rP=0;
qP=1;

FP=((rP-RP*bw) '* ((RP*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RP'))*((rP-RP*bw)/qP))/sigq;

%Teste F D1 D2 e D3

RD1=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0];
RD2=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0];
RD3=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1];

FD1=((rP-RD1*bw) '* ((RD1*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RD1'))*((rP-RD1*bw)/qP))/sigq;
FD2=((rP-RD2*bw) '* ((RD2*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RD2'))*((rP-RD2*bw)/qP))/sigq;
FD3=((rP-RD3*bw) '* ((RD3*(inv(X'*inv(Lambda)*X))*RD3'))*((rP-RD3*bw)/qP))/sigq;

xlswrite('saida.xlsx', F, 'F2', 'A2:A1')
xlswrite('saida.xlsx', FA, 'F2', 'A2:A2')
xlswrite('saida.xlsx', FD, 'F2', 'A3:A3')
xlswrite('saida.xlsx', FCF, 'F2', 'A4:A4')
xlswrite('saida.xlsx', FS, 'F2', 'A5:A5')
xlswrite('saida.xlsx', FP, 'F2', 'A6:A6')
xlswrite('saida.xlsx', FD1, 'F2', 'A7:A7')
xlswrite('saida.xlsx', FD2, 'F2', 'A8:A8')
xlswrite('saida.xlsx', FD3, 'F2', 'A9:A9')

%Quantis de vazão

[m,k] = size(Le1);

j=0;

kk = xlsread('Entrada.xlsx','Todos', 'O2:O86');

for p=[2,10,50,100,500,1000,5000,10000]
    j=j+1;
    for i=1:m
        alfa(i,k)=(Le2(i,k)*kk(i,k))/((1-2.^(-kk(i,k)))*(gamma(1+kk(i,k)))));
    end
end

```

```

E(i,k)=Le1(i,k)-alfa(i,k)*(1-gamma(1+kk(i,k)))/kk(i,k);
qe(i,j)=E(i,k)+(alfa(i,k)/kk(i,k))*(1-(-log(1-1/p)).^kk(i,k));

    end
end

j=0;
for p=[2,10,50,100,500,1000,5000,10000]
    j=j+1;
    for i=1:m
        alfa(i,k)=(Lo2(i,k)*kk(i,k))/((1-2.^(-
kk(i,k)))*(gamma(1+kk(i,k)))));
        E(i,k)=Lo1(i,k)-alfa(i,k)*(1-gamma(1+kk(i,k)))/kk(i,k);
        qo(i,j)=E(i,k)+(alfa(i,k)/kk(i,k))*(1-(-log(1-1/p)).^kk(i,k));
        c1(i,k)= 1.1128-
0.2380*kk(i,k)+0.0908*kk(i,k)*kk(i,k)+0.1084*kk(i,k)*kk(i,k)*kk(i,k);
        c2(i,k)= 0.458-7.5124*kk(i,k)+5.0832*kk(i,k)*kk(i,k)-
11.623*kk(i,k)*kk(i,k)*kk(i,k)+2.25*log(1+2*kk(i,k));
        c3(i,k)= 0.8046-
2.6215*kk(i,k)+6.8989*kk(i,k)*kk(i,k)+0.003*kk(i,k)*kk(i,k)*kk(i,k)-
0.1*log(1+3*kk(i,k));
        varqo(i,j)=(alfa(i,k)*alfa(i,k)*(c1(i,k)+c2(i,k)*(1-(-log(1-
1/p)).^kk(i,k))+c3(i,k)*(1-(-log(1-1/p)).^kk(i,k))*(1-(-log(1-
1/p)).^kk(i,k))))/m;
        into(i,j)=(1.289*sqrt(varqo(i,j)))/qo(i,j));
    end
end

```